

TSK 技報

2018
November

No.21

月島機械株式会社

TSK技報 no.21 2018

TSK TECHNICAL REVIEW

TSK 月島機械株式会社
www.tsk-g.co.jp

TSK 月島機械株式会社

論文1

渦流式微粒子晶析装置を用いた
電池材料生産技術の開発

論文2

ダウンサイジング型
ベルトプレス脱水機の開発

企業理念

1. わが社は最良の技術をもって産業の発展と環境保全に寄与し、社会に貢献します

1. わが社は市場のニーズを先取りし、最良の商品とサービスを顧客に提供します

1. わが社は創意と活力によって発展し、豊かで働きがいのある企業をめざします

TSK 技報

No.21 2018

CONTENTS

4	Foreword	YOSHIMURA Tomonori, Executive Officer Process Design Dept. Industrial Business Division
6	Paper1	Development of Battery Material Production Technology Using Vortex Flow Crystallizer DOYA Yo
14	Paper2	Development of the Downsizing Belt Filter Press Dewatering Machine YAMATO Tsuneo
20	Technology Introduction1	Development of Fully Automatic Batch-type Centrifuge ABE Ken
23	Technology Introduction2	Filtrate Immersion-type Thickener GOTO Hidenori
26	Technology Introduction3	BOKELA DYN0 Filter FRANZ Meck / HOMMA Tomoki
29	Technology Introduction4	Multi Stage Horizontal Belt Filter CHEN Kuei chi
32	Technology Introduction5	Verification of Modification Method to Improve Performance of Conventional Belt Press HIMORO Ginnosuke / OGAWA Shigeharu
36	Introduction of R&D Center Part3	TAKEDA Ryuji / HIRA Satoru
38	Introduction of CAE Group Part2	FUKADA Mitsuru
40	Coffee Break	
42	Corporate Profile / Editor's Note	

表紙の写真



ニューヨーク ブレックリン橋公園から望む
フリーダムタワーとスカイラインの夜明け

目次

4	巻頭言	プロセス産業を支える「単位操作」	執行役員 吉村 知規
6	特集 論文1	渦流式微粒子晶析装置を用いた電池材料生産技術の開発	銅谷 陽
14	特集 論文2	ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機の開発	倭 常郎
20	特集 技術・製品紹介1	新型吊下分離機の開発	阿部 研
23	特集 技術・製品紹介2	ろ液浸漬型濃縮装置「ロノッシュ TM 」	後藤 秀徳
26	特集 技術・製品紹介3	BOKELA DYN0 Filter	メック フランツ・本間 友基
29	特集 技術・製品紹介4	多段型水平ベルトフィルタ	陳 貴吉
32	特集 技術・製品紹介5	標準型ベルトプレスの性能向上のための改造手法の検証	日諸 銀之輔・小川 重治
36	研究所紹介 Part-3	スパイラル管凝縮法を用いた燃焼排ガス中のアンモニウム塩分析技術紹介	武田 龍二・日良 聡
38	解析 G紹介 Part-2	プロセスシミュレーション	深田 充
40	コーヒーブレイク	二次電池のはなし	
42	会社概要・編集後記		

プロセス産業 を支える「単位操作」



月島機械最古の製品プレート
創業2年目の1906年、通信省鉄道作業局大宮工場(現JR大宮総合車両センター)に納入したタンクに取り付けられていたもの。
タンク2基は未だ健在だけに、その材質には鉄鋼メーカーの研究員が興味津々。社名表記がなぜ「嶋」だったのかは不明。
月島機械が鉄道の跨線橋、鉄塔などを手がけたのもそのころである。

*月島機械 百年の経営より

今回のTSK技報は、「単位操作機械」が特集になります。

「単位操作」という概念は、月島機械の創立と同じころ20世紀初頭に提案され、化学工業について製品製造体系を製品ごとに考えるという思想から、化学工業のプロセスを各物理的处理に分類・整理して単位操作体系としてとらえることによって生まれました。

単位操作の分類や数については、一定の基準はありませんが、化学工学便覧改定七版では、移動現象として、流動、伝熱、乾燥、混合などが、分離操作として、蒸留、吸収、晶析、膜分離などが掲載されています。

月島機械は、会社設立間もないときに製糖機械を国産化し、多くの製糖工場の建設に関わり、製品としての砂糖を固体として取り出すために、晶析技術に携わってきました。当初の晶析は、シングルインペラ結晶缶が一般的な晶析装置でしたが、高度成長時代の幕開けのころより、生産の効率化が望まれ、1955年に月島機械は過飽和発生部と結晶成長部を分離し、晶析を連続化するオスロ形装置を採用しました。その後、シングルプロペラ方式の「安定した晶析のためには高循環速度が望ましいが、高速攪拌では結晶が破壊やすくなる」という課題を克服したDP(ダブルプロペラ)型晶析装置を1964年に開発しました。このDP型晶析装置は、晶析槽内に円筒状のドラフトチューブを設置し、方向の異なる流れを生み出す特殊なダブルプロペラにより、チューブの内側は上昇方向の流れを外側は下降方向の流れを作り、循環量を上げつつ、攪拌羽根は低回転速度にすることが可能となっています。この装置は、連続的にコントロールされた粒径のスラリーが得られる装置として、月島機械の代表的な装置となりました。その後、晶析、

固液分離、洗浄精製の3つの機能を有するよう溶融精製技術の開発、製品化を行い、4C連続溶融精製システム(Counter Current Cooling Crystallization)によって最高純度99.999%の結晶を一工程で実現しました。そして、今回の21号では、シャープな粒度分布の結晶を連続的に得ることができる渦流式晶析装置(VF-C: Vortex Flow Crystallization)を紹介しております。

晶析装置に対して要求される重要な特性は、生産量と結晶粒径、もしくは粒径分布ですが、結晶の品質としては、組成、純度、形態、結晶系、表面状態など様々なものが求められます。「晶析は芸術である。」と言われることもあり、晶析条件を操作することで、目標としたい粒子を得られる技術は社会にとって、たいへん重要な技術です。

近い将来には、小型、安価、耐久性のある多様なセンサーが導入できるようになると考えられるでしょう。今後、温度、流量、pH、圧力といった一般的な計測パラメーターだけではなく、振動、音、形状、濃度、電位、におい、光などのデータを一括して経時的な状況を判断し、最適な運転条件を導き出して、製品品質の向上、生産効率の向上、単位操作装置の自動運転ができるようになることを期待しております。

その他の単位操作においても、月島機械は、時代における市場のニーズに応えるようにして様々な単位操作装置を開発・改良し、技術の進化が必要となります。当社

の企業理念の一つとして掲げている「最良の技術をもって産業の発展と環境保全に寄与し、社会に貢献」の実現を目指し、今後も多様な人材が一丸となり、強い信念と熱意をもって、最先端の技術を取り入れた製品を生み出していく所存でございます。



吉村 知規

執行役員
産業事業本部
プラント計画部長

渦流式微粒子晶析装置を用いた電池材料生産技術の開発

Development of Battery Material Production Technology Using Vortex Flow Crystallizer



銅谷 陽
DOYA Yo

産業事業本部
プラント計画部
プロセス第1グループ

Abstract

Vortex flow crystallizer (VF-C) has launched to produce micron-sized particles as cathode active material precursors for lithium-ion secondary battery. The mixing zone, which forms around a powerful circulating vortex, is utilized as a reaction zone.

For high-efficiency production, the VF-C operates with a high degree of supersaturation, exceeding 0.2 kg/m³, without loss of quality. The conventional system was applied with less than 0.1 kg/m³ of supersaturation .

Battery materials require high energy capacity and power, high battery life, and safety, with respect to the market background, development of material-producing technologies facilitates the spread of environmentally friendly automobiles like electric, plug-in hybrid, and fuel cell vehicles.

One possible approach to meet these requirements is to develop smaller than conventional particles. Tank reactors are popular for production of precursor materials with large particle size, but there are limitations to producing smaller particles with good quality.

This report illustrates the research and development transitions leading to invention of the VF-C, explains the reaction mechanism for producing precursor materials, and subsequently introduces production examples and test results.

渦流式微粒子晶析装置は循環渦周りの強力な混合場を反応場として利用する粒子製造技術である。リチウムイオン二次電池の正極活物質プリカーサーに見るようなミクロンサイズの粒子を製造するために産みだした技術である。プリカーサーの生産量を上げるために従来 0.1kg/m³ 未満で操作されていた操作過飽和度を 0.2kg/m³ 以上と高くしても良好な球状粒子を得ることができる。

環境自動車(電気自動車、プラグインハイブリッド車、燃料電池車)の急速な普及が望まれる中、電池材料は高容量・高出力・高寿命・安全性が求められている。この要求に対する材料開発の方向性として電極部材粒子の小径化がうかがえる。現状普及している槽型反応装置は大径粒子の製造に向いているものの小径化には限界が生じている。

本報では本技術を産みだした開発変遷に触れ、渦流周りの流れ、プリカーサー製造の反応メカニズムを概説のあと、生産例・実験結果を紹介する。自動車に搭載される二次電池の技術開発がますます激しさを増す中、効率的な小径粒子の生産技術を顧客に提供することを通じてエネルギー問題、環境問題に貢献することができれば幸いである。

キーワード：共沈、反応晶析、渦流、攪拌、混合、微粒子、リチウムイオン二次電池、正極活物質、前駆体
Keyword：Co-precipitation, Reaction crystallization, Vortex flow, Stirring & mixing, Lithium ion secondary Battery, cathode active material, Precursor

1. はじめに

本技術はリチウムイオン二次電池の正極材料(活物質)の前駆体(以下プリカーサーと略す)を製造するために開発されたものである。プリカーサーはミクロンオーダーの球状凝集粒子であり、高容量(充電容量)、高出力(急速充電)、高寿命を兼ね備えた電池が求められる中、その性能を左右する重要な物質と言える。

活物質はリチウムイオン自体が出入りする粒子結晶構造物であり、プリカーサーをリチウムと混合し高温焼成することにより得られる。リチウムイオンの出入りする量で電池容量(Ah)が決まり、出入りする速さで出力(W)が決まる。

そのため電池容量はプリカーサーの材料組成と密度、出力はプリカーサーのサイズと表面積、内部抵抗に左右される。これらを向上させる開発として材料の低結晶化とナノ化を中心に開発競争が続いているところである。^{1) 2)}

プリカーサーの製造工程を電池業界においては共沈技術と称している。正極材は電気供給時(電池放電時)にリチウムイオンを受けとる鞘となるため、リチウムイオンを受け取る役割を担う遷移金属(ニッケル、コバルト、マンガン等)が均等・均質に配分されていなければならない(図1参照：X線マッピング、K線スペクトル強度)。これを同時に均等に析出させる共沈技術が重要なものとなる。³⁾

共沈技術で求められるものが組成の均等分散とイオン価数の均質性、結晶性、一次粒子サイズの均等性、この凝集体となる二次粒子、三次粒子の球状化、粒度分布、空隙率と粒子密度、不純物の低減などがあげられる。

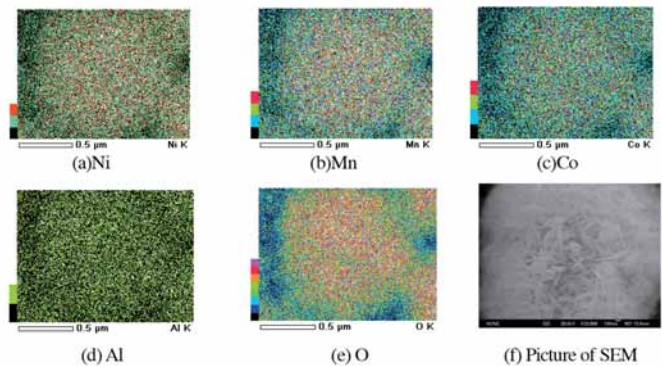


図1 エネルギー分散型X線分光器による元素配置
Fig.1 Example of element arrangement by EDS Energy Dispersive-X-ray spectroscopy

粒子原料組成、均等な組成分布、幾何学的形状、粒子密度といった粒子設計値に対し、目標どおりのものを生産する技術が求められる。これらは材料からみた要求品質であり、これらに加え生産システムとして安定運転、運転管理性、装置の洗浄性などが問われるところとなる。

広く一般的には反応晶析として知られる反応操作であるが、正極活物質を製造するためのコア技術であり、この粒子の品質によって電池性能が変わるといっても過言ではない。

このコア技術(共沈・反応晶析)を制することで環境社会への貢献に

加え、後工程の固液分離操作を含む当社技術とのシナジーが生まれることを狙い反応装置の開発に着手したものである。⁴⁾

本報においては渦流式微粒子晶析装置の特性を利用した滞留時間操作とリアクター流入流速操作による粒子粒径・粒度分布の結果報告に留める。実際には化学的操作(添加原料種)、運転操作(pH、温度、電位)、原料供給操作(リアクター内原料供給位置)を含めた複合操作で運転され、その評価も組成分布・イオン価数、粒子密度・空隙率、不純物、紛体抵抗、比表面積・細孔径など多岐に渡る。

なお、本報の所見は2011年～2016年に実施した開発を基にしたものである。

2. 開発変遷

従来生産技術においては反応晶析により粒子を得るために攪拌混合槽型の反応装置を用い、混合槽内の流動を高め、且つ循環流に対する反応原料の供給量を下げること(過飽和度を下げること)で均質性を高めている。材料要求として数十ミクロンサイズの大径粒子を得ることを目的としていたこともあり、粒子成長のために平均滞留時間として10時間ほど要している。

生産規模は多くて月産1000ton規模であり、反応装置は数m³サイズのものを複数台並べる傾向がある。所定の材料を得るために装置のスケールアップリスクが高く、大きなものでも10m³程度の反応槽を使用している。

開発初期においては従来型の攪拌混合槽型の反応装置を用い粒径制御にトライしていた。

その中で昨今の環境自動車に見るような高容量・高出力電池を得るには小径粒子を生産する技術が必要として伸びる見込みがでてきた。

数ミクロンオーダーの粒子を得るためには結晶を十分成長させることなく排出する必要があり、装置としてできる操作は攪拌流動性を高め、流れによる高いせん断力場を形成すること、滞留時間を短くするために原料供給量を多くするといった操作があげられる。

しかしながら、従来型の攪拌混合槽で攪拌流動性を高めるには限界が生じる。⁵⁾ 実験結果から図2.3.4に示すとおり数ミクロンの粒子サイズを得るには高い攪拌スピードを要するものとなり、スケールアップにおいては攪拌動力が過大になることが想定される。

＜実験条件＞

使用装置：攪拌混合槽 4L バッフルプレート＋ドラフトチューブ付き、タービン翼2段、平均滞留時間 θ ：5hr

生産物：水酸化ニッケル 評価は7.5hr (1.5 θ)経過時のものとした。

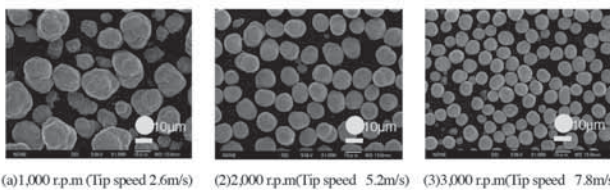


図2 攪拌スピードと粒子径の関係(走査電子顕微鏡写真)
Fig.2 Relation of stirring speed and particle seize (Scanning Electron Microscope)

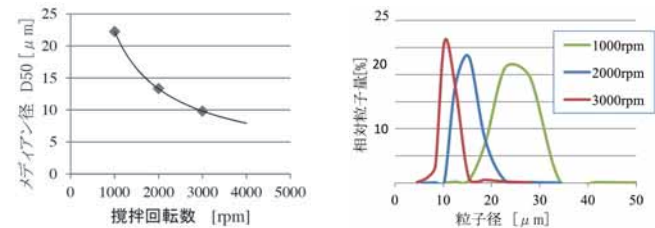


図3 攪拌スピードとメディアン径D50の関係
Fig.3 Relation of stirring speed and median diameter

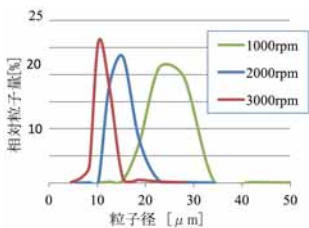


図4 攪拌スピードと粒度分布の関係
Fig.4 Relation of Stirring speed and particle distribution

そこで本開発においては流動性を高め、且つ球状化を促進させ得る手法として管型のリアクターを用いた経緯があるが管壁面へのスケーリングに伴う長時間運転の課題、流路長も長くなる傾向が散見された。これらを解決する手法として本技術では円管内旋回流を用いている。壁面への未反応物質の移動を遅らせることでスケーリングを抑えると同時に、リアクター中心の強制渦場・渦流周りのマイクロ混合場を活用することで急速反応を可能とした。これにより循環流に対する原料供給量を高めること・操作過飽和度を高くとすることができ、平均滞留時間の低減、ミクロンオーダーの粒子を連続生産することが可能となった。詳細は4章実験結果にて記載する。

また渦流を用いたことで反応原料供給部に機械攪拌装置が不要となり、攪拌装置によるコンタミリスク、スケーリングリスクを低減できる。

上述の反応装置区分を表1に記す。

表1 反応装置比較
Table1 Comparison of reactor

	槽型反応装置 攪拌混合槽	ループ型反応装置	管型反応装置 流通管式
装置構造			
	原料A 原料B 排出	原料A 原料B 排出	原料A 原料B 排出
	攪拌羽根、邪魔板、ドラフトチューブの構成をアレンジすることで多種多様な用途で利用される。	反応部、調整タンク、循環ポンプにて機能の分割が可能。反応部を渦流としたものが VF-C である。	同軸噴流型壁面噴流、クウェント流型など多種多様な方式あり。
操作方法	回分操作、半回分操作 連続操作何れの操作も可能	回分操作、連続操作何れの操作も可能	連続操作で使用する。
操作範囲 (操作過飽和度)	ブライカー 0.1kg/m ³ 未満	ブライカー 0.5 kg/m ³ 程度	—
生産物への影響	滞留時間分布に伴う影響を受ける。		滞留時間分布を操作可能

広く反応工学における反応装置は槽型反応装置と管型反応装置に大別される。⁶⁾

ループ型反応装置はこの中間に位置するものと考えているが、運用方法としては槽型反応装置の機能を分割した構造を有するものと言える。そのため連続運転において反応装置内の流体は滞留時間分布を持つものとなり、システム内が平衡状態となるときに得られる粒子粒度分布は槽型反応槽と同様にブロードな分布をもつものとなる。

一方、管型反応装置は管内での滞留時間を有するものの基本はピストン流れ・右から左に進行する押し出し流れとみなせるため、得られる粒子粒度分布はシャープなものが得られる。

反応場の均一性とシャープな粒度分布を得るという観点からは理想系として管型反応装置を選択したいところとなるが、ブライカーサーの製造においては粒子を成長させる時間が必要なため反応装置を縦に百段以上重ねる必要がある。また後述する反応メカニズムの観点からも適用が難しいものとなる。

渦流式微粒子晶析装置 (VF-C) の反応部 (リアクター) は管型反応装置のような反応の均一性を有しつつ、槽型と同様、粒子成長時間を確保するために内部循環する構造をとっている。そのため両者の中間に位置づけられると考えている (表1中ループ型反応装置)。ブライカーサー製造においても槽型反応装置と同様な運転方法をとっている。⁷⁾

なお円管内旋回流 (ここでは渦流と称す) は工業上、空気輸送装置、燃焼装置、乾燥機など様々な用途で利用されている。この特性を知るために空気流を用い旋回流の速度分布、せん断力を実験手法、流体解析手法を組み合わせた現象の解明例^{8) 9) 10)}が散見されるものの、反応晶析を行う反応流れ場として混合・反応モデルを解明する例は見当たらない。単純な結晶成長例や反応モデルを組み込んだ槽型反応装置の解析例は報告されるものの、旋回流流場且つブライカーサー製造のような複雑化した事象を解明することは現在においても難題と言える。

流体混合モデルまではシミュレーションによる表現が可能なものの、反応を含めた粒子成長過程を再現することは難しく、ブライカーサー製造で見えるような酸と塩基反応の反応速度定数は最大で10¹¹M⁻¹s⁻¹と無限に速い反応であり¹¹⁾、反応場は拡散律速となるため装置内のマイクロ混合場・原料拡散混合のモデルをあらかじめイメージすることが重要なものとなる。よって次の章に反応部 (渦流場) のシミュレーション実施例を示すものとする。

3. 流体解析

3.1 基本式

通常、連続の式 (3.1.1, 3.1.2)、レイノルズ方程式 (3.1.3) により流体空間分布を得た上で、物質移動を示す拡散方程式 (3.1.4) を用いて計算される。

しかしながら、後述のとおりブライカーサーの製造における反応速度は非常に速く且つ複雑な経路を得るため、ここでは流れ解析と原料注入液の拡散に留めるものとする。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) \cdots (3.1.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \cdots (3.1.2)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \cdot \nabla \bar{u} \right] = -\nabla \bar{p} + \nabla \cdot [\mu \nabla \bar{u} + (\rho \bar{u} \bar{u})] + F \cdots (3.1.3)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla C = D \nabla^2 C + r \cdots (3.1.4)$$

3.2 シミュレーション方法

一般的に複雑な渦流の特性をレイノルズ平均モデル (等方的な乱流粘性モデル) で解析することは難しい。

しかしこのようなケースにおいても乱流の特性時間に旋回流の特性を組み込むことで、平均流の主たる挙動は再現できる。

よってここでは乱流モデル $k-\varepsilon$ モデルを適用した結果を示す。

旋回流や衝突流等の急激な変動を有する流体シミュレーションはレイノルズ応力の輸送方程式を解く方法が一般的であるが、乱流エネルギー k 、乱流エネルギー散逸率 ε に速度分布に応じた補正項を掛けることで現実モデルと相違ない結果を得ている。^{13) 14)}

よってここでは以下の式を用いた結果を算出する。

$$k \text{ 方程式 } \frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \bar{u}_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P_k f_r - \rho \varepsilon \cdots (3.2.1)$$

$$\varepsilon \text{ 方程式 } \frac{\partial (\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \bar{u}_i \varepsilon)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \rho \cdots (3.2.2)$$

k :乱流運動エネルギー[m²/s²], ε :エネルギー散逸率[m²/s²],

f_r :生成項を減衰させる関数, μ_t :渦粘性係数,

3.3 流体解析結果

(1) 渦流式微粒子晶析装置 (VF-C) の流体解析例

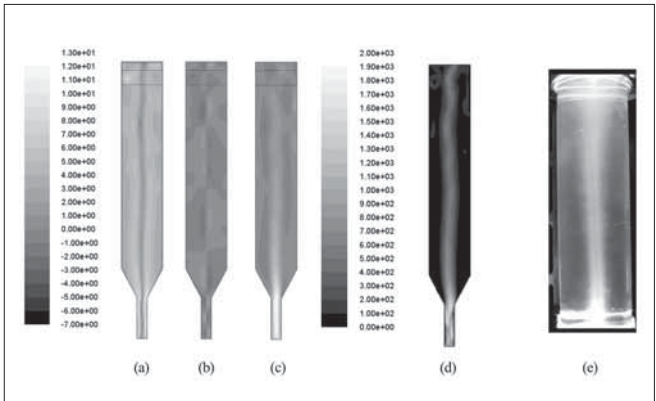


図5 CFD 結果 速度分布コンター図
Fig.5 Result of calculation fluid dynamics ,Velocity contour plots
(a) θ 周方向速度分布、(b) r 半径方向速度分布、(c) z 軸方向速度分布 (d) 渦度 (1/s)
(e) トレーサー粒子の注入による粒子の軌跡 (実写)
(a) ~ (d) 反応装置直径 200mm (循環流 720L/min) における計算値、(e) 装置直径 50mm (循環流 35L/min)

周方向速度分布は反時計周りをプラスとしている。R 半径方向速度分布は中心より外側をプラス、中心方向をマイナス、 z 軸方向 (中心軸方向) は下側をプラスとして定義したものである。

渦度は $\text{rot } \mathbf{u}$ [1/s] で定義される単位時間の空間回転量となる。

計算結果からも流れの速度成分としては周方向が高いものとなり、渦中心近傍の周方向速度が高いものとなることが分かる。このためリアクター内での反応粒子は螺旋上の流路を描きながら下流側に流れるためリアクター内における流路長は Z 軸長よりも長くとれるものとなる。流れの旋回強さの目安として無次元角運動量 Ω を次式に示す。⁹⁾

$$\Omega = \frac{8}{\pi d^3 W_a^2} \int_0^{2\pi} \int_0^A (r \bar{V} \bar{W}) r dr d\theta = \frac{8}{\pi d^3 W_a^2} \int_0^A (r \bar{V} \bar{W}) dA = \sum (r \bar{V} \bar{W})_i \cdot A_i \cdots (3.3.1)$$

W_a :断面平均速度[m/s] , $\bar{V}, \bar{W}$: θ, Z 方向の時間平均速度

これを Z 軸方向での変化をみたとき、反応装置内の無次元角運動量の低下を図6に示す。

本結果からリアクター部下流方向においては旋回流強さが入口部の半分程度に減少していることが判る。

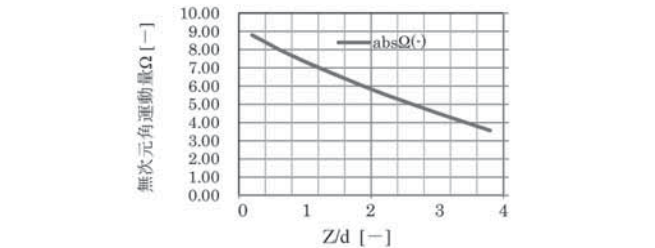


図6 Z軸方向における無次元角運動量の変化
Fig.6 Dimensionless angular momentum in the Z axial direction

(2) 渦流式微粒子晶析装置 (VF-C) の混合モデル

次に原料をノズルより添加した例を示す。ここでは反応を含まない混合モデルである。

反応装置直径 50mm × 流路長 250mm、循環流量 24L/min、ノズルからの原料供給量 112.5mL/min × 2 における質量分率を示している。

図からはノズル出口より Z 方向 10mm の位置において循環流体 (母液) との混合により濃度は 10% まで低下するものとなり、ノズル出口より 50mm の位置においては濃度 2% にまで低下しており、急速拡散混合が進行していることが分かる。

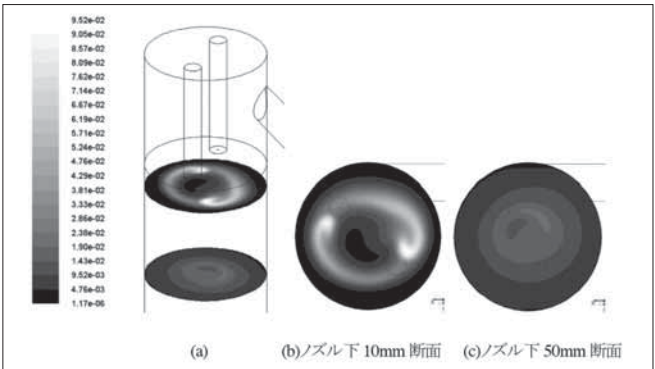


図7 原料濃度変化の一例
Fig.7 Example of raw material concentration change

(3) 槽型反応装置と渦流式微粒子晶析装置の比較

シミュレーションによる混合槽型反応機と渦流式との比較例を図8に記す。

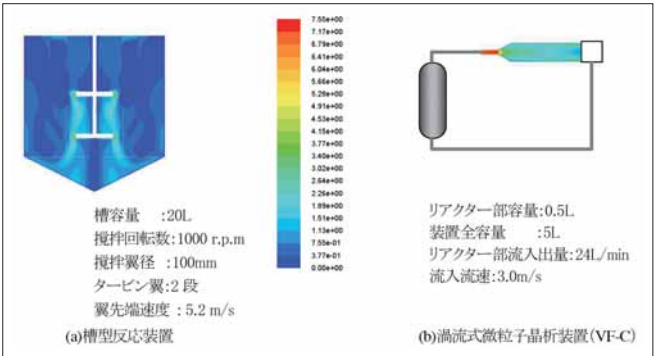


図8 リアクター内の流速分布
Fig.8 Velocity distribution in reactor

本比較においては攪拌翼先端速度5m/sに対し渦流式流入速度は3m/sでの解析結果となる。

(a) 槽型反応装置は攪拌翼近傍流れの乱流エネルギーが高く、原料はこの近傍を狙い注入される。

しかしながら攪拌翼近傍の限られた空間にかぎり流速が高いものとなり、反応装置としては空間分布が広がるものとなる。

(b) 渦流式微粒子晶析装置は反応部全域に渡り強い攪拌場が形成されるものとなる。

(c) リアクター出口部は渦流による急激なスロート部が形成されるためその中心流速はリアクター流入流速以上に高いものとなっている。

なお、このシミュレーション結果の意味する実験例を第4章2項にて述べるものとする。

4. 実験方法・結果

4.1 プリカーサー製造テスト

(1) フローシート、実験装置外形

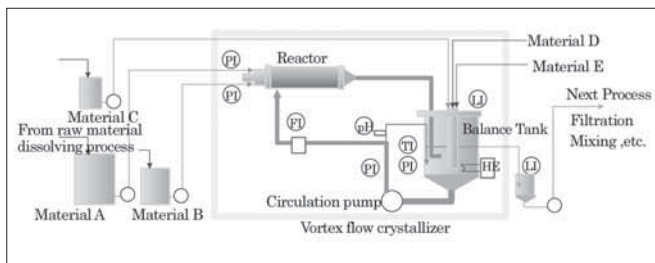


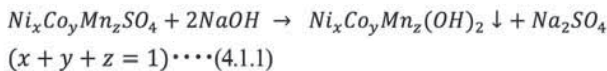
図9 実験フロー
Fig.9 Test Flow sheet



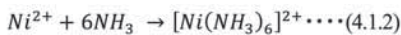
図10 渦流式微粒子晶析装置の外観
Fig.10 Picture of vortex flow crystallizer

(2) 反応メカニズム

反応基礎式は(4.1.1)式の通りとなる。



この反応は瞬時反応(反応速度定数 $k=10^{10} \sim 10^{11} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$)であり微細な核が大量に生成するため一次粒子が成長できぬまま凝集体を形成していく。よって核生成と一次粒子の成長をコントロールするためにアンモニアを用いたアンミン錯体を経由した反応機構をとる。



コバルト、マンガンも同様なアンミン錯体をつくる。

アンミン錯体の錯体形成反応速度定数 k は $10^4 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ 程度¹¹⁾となるため錯体形成反応律速となるが、実験において遷移金属比1～3倍程度のアンモニアを添加することで一次粒子の成長が認められている¹⁵⁾。

ここで一次粒子の衝突により急速凝集する場合、粒子数の時間変化は次式で与えられる。¹⁶⁾

$$\frac{dN}{dt} = -k_D N^2 \cdots (4.1.4)$$

$k_D[\text{m}^3/\text{s}]$:凝集速度定数でありサブミクロン粒子においては $10^{18}[\text{m}^3/\text{s}]$ のオーダーとなる。

このことから一次粒子は瞬時に凝集することが理解できる。

このようにプリカーサー形成の反応メカニズムは酸と塩基・錯体形成の反応により核化・一次粒子成長・凝集、凝集粒子表面反応が混在した複雑な系となる。

(3) 実験条件・運転条件

各原料の供給条件、反応条件、装置運転条件の一覧を表2に示す。

予め操作pHに調整されたイオン交換水をスタート母液とし、調整槽よりポンプを介してリアクターへ循環供給される。原料A(NiCo溶液)、原料B(NaOH)はリアクター部に注入され、原料C(NH₃)は調整槽に注入される。

調整槽は温度、pH、槽容量をコントロールし、生産物は調整槽よりオーバーフローにて排出される。

表2 テスト・運転条件一覧
Table2 test and operation condition list

テスト番号	1	2	3	4	5	6
原料	Material A :NiCoSO ₄ a.q(1.4M) Material B:NaOH(25%) Material C:NH ₃ (25%) Material D:N ₂			Material A の条件変更 NiCoMnSO ₄ a.q(1.6M)		
平均滞留時間 θ [min]	30	45	120	30	→	→
装置容量 V [L]	7	8.5	15	2	5	5
原料供給量 q [mL/min]	233	189	125	67	167	167
操作pH(温度)	12.0 (45℃)	→	→	11.5 (45℃)	→	→
循環流量 Q [L/min]	35	→	→	8	24	31
循環パス数 Q/q	150	185	280	120	140	185
生産量 [kg/h]	1.0	0.8	0.5	0.4	1.0	1.0
操作過飽和度[kg/m ³]	0.48	0.38	0.24	0.83	0.69	0.54

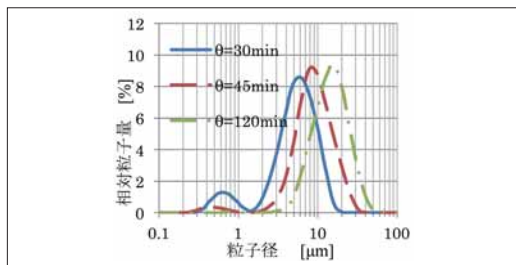
(4) 実験結果

① 滞留時間操作

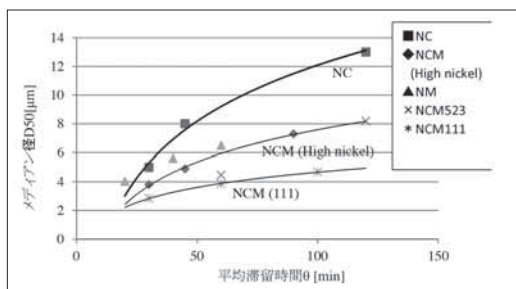
テスト評価は系内が十分に平衡に達している 7θ 経過時点(平均滞留時間の7倍経過した時点)で取り出したサンプルを基に実施した。

平均滞留時間を操作因子とした表2テスト番号1、2、3の結果、平均滞留時間の違いによる平均粒子径の推移を図11に示す。

参考として(b)平均滞留時間と粒子径の関係においては上記テスト結果(NC)以外の実験データも図11(b)に提示する。何れの材料においても滞留時間操作による粒子径コントロールが可能であることが分かる。また平均滞留時間を短くすることによる操作過飽和度の上昇に対しても球状凝集粒子が得られることが図12よりわかる。



(a) 粒度分布



(b) 平均滞留時間とメディアン径の関係

図11 平均滞留時間操作によるプリカーサー粒子径への影響
Fig.11 Influence to particle size of precursor with average residence time

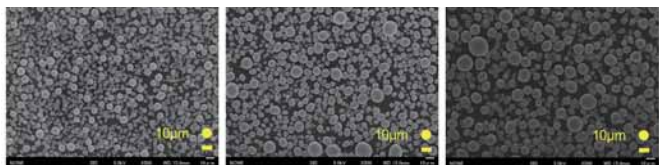


図12 平均滞留時間操作によるプリカーサー粒子径への影響(SEM画像)
Fig.12 Influence to particle size of precursor with average residence time (Picture of Scanning Electron Microscope)

連続式の混合槽型にて槽内は完全混合状態にあり発生する核(一次核)の粒径はゼロであると仮定する。

L:粒子径[m]、 θ :平均滞留時間[s]、G:結晶粒子の成長速度[m/s]、B:核発生速度[#/m³s]、

結晶個数収支(Population balance)から

これを解くと粒径分布の密度関数 $n(L)$ [# /m⁴]を導くことができる。

$$\frac{\partial n(L,t)}{\partial t} + G \frac{\partial n(L,t)}{\partial L} + \frac{n(L,t)}{\theta} = 0 \cdots (4.1.5)$$

上式(4.1.4)を定常状態と仮定し結晶個数変化が無いものとするれば、初期条件(L=0,N(0))から次式が得られる。

$$n(L) = n^0 \exp \frac{-L}{G\theta} \cdots (4.1.6)$$

但しここでは粒子粒径Lの結晶成長は凝集によるものとしている。実際に得られる分析結果においても凝集粒子郡の粒度分布が得られることから、結晶成長速度を凝集粒子の成長速度とすることで粒子径と母集団密度 n [# /m³/m]の関係を得ることができる。¹⁷⁾

$$\ln n(L) = \ln n^0 - \frac{L}{G\theta} \cdots (4.1.7)$$

$$n^0 = n(0) = \frac{B}{G} \cdots (4.1.8)$$

平均滞留時間 $\theta=30\text{min}$ の例を基に結晶成長速度と核発生速度を算出した結果を図13に示す。

同様にして算出された平均滞留時間の違いによる成長速度の関係を表3に示す。

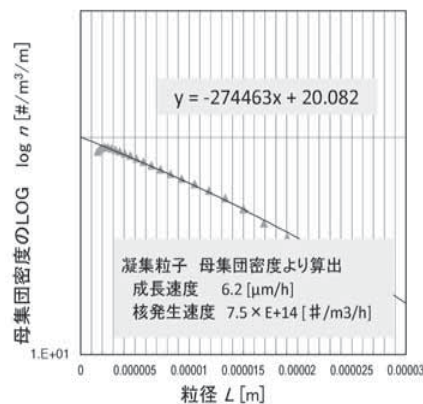


図13 粒度分布から算出された母集団密度分布
Fig.13 population density plot of particle distribution

表3 みかけの粒子成長速度と核発生速度
Table3 The apparent particle grow velocity and Nuclear generation rate

θ [min]	D50[μm]	G[μm/h]	B[#/m ³ /h]
30	5.0	6.25	7.54×10^{14}
45	8.0	5.8	8.44×10^{13}
120	13	6.54	4.57×10^{12}

表3の結果は上述の各仮定のもと滞留時間以外を同一条件とみなした上で相対比較した結果である。

図11(a)で示す粒度分布から得られたみかけの成長速度は何れも6μm/h前後であり、流れ場、反応条件(pH)が一定であれば成長速度は一定になることが判る。

みかけの核発生速度は滞留時間が短いほど操作過飽和度が高く循環流に対する原料供給量が多くなるため高いものとなる。操作過飽和度を下げる・滞留時間を延ばすことで核発生量を抑えることができる。

② 流入流速(循環流量)操作

図14、15にリアクター部への循環流入流速操作による粒子メディアン径・タップ密度の違いを示す。

原料はニッケル、コバルト、マンガンの複合材料を用いた結果である。図中記号◆で示した点が実験条件(表2)テスト番号4～6番に記載の結果である。pH条件、滞留時間など操作因子が異なるデータも図中には記している。

結果からリアクター流入速度を高めることでメディアン径の減少が可能となる。粒子密度の指標となるタップ密度は流入流速を高めることでより高い値を得る事ができる。結果からはタップ密度と粒子径についてトレードオフの関係が存在している。

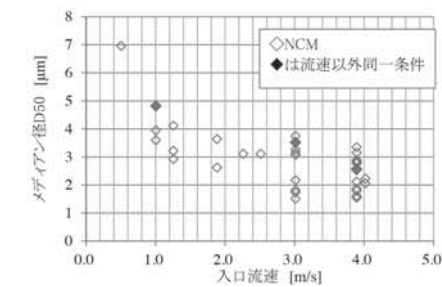


図14 流入流速操作による粒子径の変化
Fig.14 Changes in the particle size by inflow flow rate

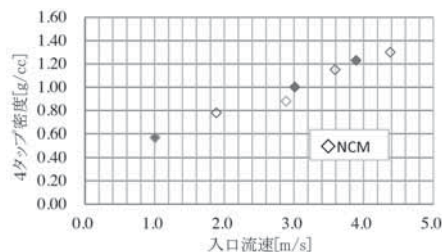


図15 流入流速操作によるタップ密度の変化
Fig.15 Changes in the tap density by inflow flow rate

4.2 槽型反応装置との比較テスト

渦流式微粒子晶析装置と攪拌混合槽との違いについて水酸化亜鉛の生産例として下記に示す。¹⁸⁾

(1) 実験方法

ブリカーサーによる評価はアンモニア濃度による影響、pH値変動に対する影響が現れやすい。そのため装置評価が単純化可能な例として、硫酸亜鉛(1M)と苛性ソーダ(25%)を母液(イオン交換水)に注入し、得られる水酸化亜鉛結晶粒子粒度分布を評価するものとした。



表4 実験条件一覧表
Table4 List of experimental conditions

	槽型反応装置	渦流式微粒子晶析装置(VF-C)
装置外略図		
撹拌構造	翼径50mm タービン翼2段 槽径 150mm ドラフトチューブ径 80mm	渦流式リアクター部口径50mm
装置容量	3L	5L
原料注入方式	液中、撹拌翼付近への直接注入	渦流式リアクター部への直接注入
原料排出方式	オーバーフロー排出	
撹拌速度	450,1100,1800 rpm (撹拌翼先端速度 1.3, 5 m/s)	リアクター部流入速度 1, 3, 5 m/s
平均滞留時間		10~30min
操作pH(温度)		12.5(25℃)

(2) 実験結果

図16、17に流れ場の違いに伴うメディアン径の変化、単分散性評価結果を示す。これらの結果は連続運転にて平均滞留時間を30min(1θ)とし、180min(6θ)経過時のサンプルを評価したものである。槽型反応装置との比較表記のためVF-Cにおいてはリアクター部流入速度として記載した。槽型については撹拌翼先端速度を流入流速の代表値として両者を比較するものとした。

単分散性については粒度分布結果から得られる(D₉₀ - D₁₀)/D₅₀にて評価している。槽型反応装置との比較表記のためVF-Cにおいてはリアクター部流入速度として記載した。混合槽については撹拌翼先端速度を代表値として両者を比較した。結果として、VF-Cの生産物メディア径は槽型に比して小さくなる。同等なメディア径(図16上 A点とB点)で比較した場合、単分散性はVF-Cの方が高まる結果となる(図17上 A点とB点)

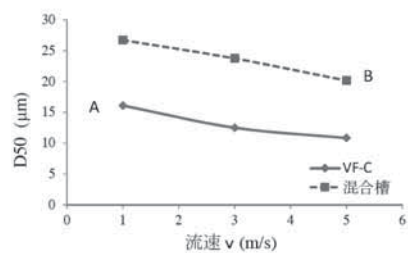


図16 メディアン径の変化(水酸化亜鉛)
Fig.16 Changes in median diameter(Zinc hydroxide)

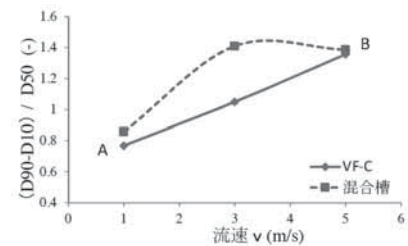


図17 単分散性の変化(水酸化亜鉛)
Fig.17 Changes in monodisperse of particle size

4.3 その他生産物例

参考として組成比の異なるブリカーサーのSEM画像、並びに貧溶媒法で得たグリシン(アミノ酸)結晶のSEM画像を図18に示す。

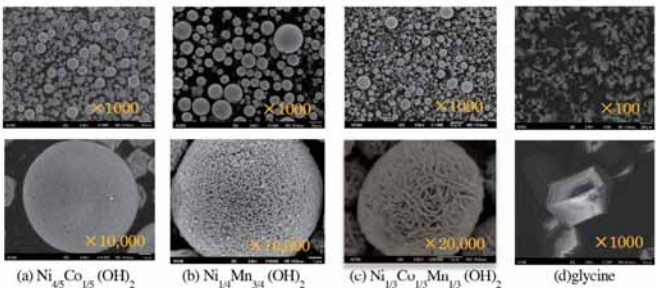


図18 渦流式微粒子晶析装置(VF-C)による生産物例(SEM画像)
Fig.18 Production example by VF-C (Picture of Scanning Electron Microscope)

5. まとめ

これまで得られた結果から、渦流微粒子晶析装置(VF-C)を使うことで正極材をはじめとする微粒子製造に対して下記の特徴を発揮できることが見出された。

- 数値計算結果から渦流式微粒子晶析装置の特性として以下の点が挙げられる。
 - リアクター部のZ方向に對し角運動量の減衰が見られ、リアクター出口においては半値程度に低下する。
 - リアクター部に注入された原料濃度は急速に拡散し原料ノズル下50mmの位置において2%以下に低下する。
 - 槽型撹拌装置に比して反応部の流れ強さが均一であり、均一な反応場の形成が期待される。
- 実験結果から得られた特性として以下の点が挙げられる。
 - 渦流場を利用することにより急速な撹拌混合場を得ることができ、操作過飽和度を高くしても良好な球状粒子が得られる。これにより平均滞留時間を短くすることが可能であり、時間操作での粒子径コントロールが可能となる。また、リアクター流入流速を変化させることで粒子径、粒子タップ密度をコントロールすることが可能となる。
 - 実験より得られた粒度分布から見かけの粒子成長速度を試算した結果、リアクター内の流動状態、操作pHが一定であれば粒子成長速度は滞留時間の影響を受けずほぼ一定の値を示し、核発生速度は操作過飽和度を低くするほど小さくなる。
 - 循環流量・流入流速を高くすることで槽型反応装置に比して小径の粒子を製造可能である。

6. 今後の発展

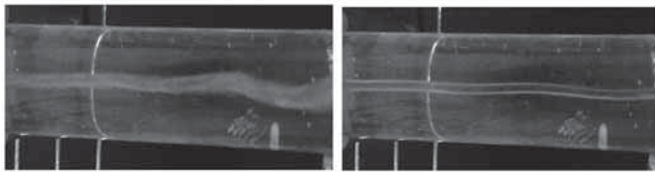
電池材料製造に留まらず、反応晶析による物質製造は触媒、電子材料、化粧品、食品・医薬と幅広い分野に応用可能であり^{19) 20)}、且つ固液分離操作から粉体ハンドリングまでを含む当社技術の集合プロセスになり得る。

小量生産機ではあるがエレクトロニクス分野の材料製造に採用頂いた実績もあり、今後、電池正極材を核としながら様々な分野へ発展することを期待したい。

そのためには装置の適用範囲を広げるべく継続的な開発が必要となる。リアクター部流動性のコントロール、装置機内洗浄性、自動運転管理など技術開発はいとまが無い。

既に入口流入流速コントロールに加えリアクター内の流動性をコントロールする技術も開発している。²¹⁾

今後は更なる生産性・生産品質の向上に繋げ液相法での物質生産技術を極めていくことで市場の窓口を増やしていきたい。



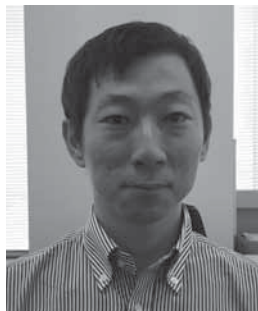
(a)渦流コントロール無 (b)渦流コントロール有
図19 同一循環流量における渦流のコントロール
Fig.19 Vortex flow control in the same circulation flow rate

参考・引用文献

- Jennifer B.Dunn, Christine James, Linda Gaines, and Kevin Gallagher: Material and energy flows in the production of cathode and anode materials for lithium ion batteries, Argonne National Laboratory 30 Sep (2014)
- GS YUASA Technical Report vol.3-1 (2006)
- 粉体精製と湿式処理 環境資源工学会, pp.160-161 (2012)
- 銅谷陽:二次電池材料製造のための晶析技術と化学装置, 化学装置, pp.50-53 (2014)
- Mixing液体混合技術 N Harnby,M F Edwards,A W Nienow 日刊工業新聞社
- 反応工学 株式会社培風館 著者 橋本健治
- J.P.KLEIN and R.DAVID: Crystallization Technology Handbook, pp.359-400 (1995)
- 鬼頭修己、中林功一、中川靖規、神谷数司: 直円管内旋回流の乱れ特性, 日本機械学会論文集(B編), 56巻, 第527号, pp.70-78 (1990-7)
- 須藤浩三、野村忠宏: 直管内旋回流れの流動特性, ターボ機械, 第26巻, 第8号, pp.34-42 (1998)
- 橋本弘之: 円管内の空洞を生ずる旋回流, 連研報告, 第23巻, 第232号, pp.221-235 (1967/1968)
- 舟橋重信、田中元治: 分析化学者のための熱力学と反応速度論Ⅶ,JAPAN ANALYST, pp.1035-1049 Vol.18 (1969)
- 流れのダイナミクスと結晶成長 共立出版株式会社
- 吉澤徹、安部浩幸、藤原仁志、溝淵康寛、松尾裕一: 旋回流における乱流拡散抑制機構のレイノルズ平均モデリング, 第41回流体力学講演会 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 論文集, p23-26 (2009)
- 半場藤弘: 円管内旋回流における渦粘性率の履歴効果, 東京大学生産技術研究所基礎系部門, 第69巻, 第1号, pp.5-8 (2017)
- 拓殖秀樹: 反応晶析における水酸化ニッケルの粒子特性, 化学工学会 第67会, pp.387 (2002)
- 液相中の粒子分散・凝集と分離操作 粉体工学会 日刊工業新聞社
- 溶液からの結晶成長「構造と形のデザイン」 共立出版株式会社
- 銅谷陽・平沢泉: ミクロ混合を最適化する微粒子晶析技術, 第23回フィラーションポジウム, pp.56-63 (2015)
- 平沢泉・三上貴司: ナノ・マイクロ結晶の反応晶析, 最近の化学工学64, pp.63-71 (2015)
- 銅谷陽・平沢泉: ミクロ混合を最適化する微粒子晶析技術, 化学工学会, 第81年会, pp.321 (2016)
- 粒子の製造装置及び粒子の製造方法, 特許公報, 特開 2017-131833 (P2017-131833A)

ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機の開発

Development of the Downsizing Belt Filter Press Dewatering Machine



倭 常郎

YAMATO Tsuneo

開発本部

研究開発部

研究開発グループ

Abstract

Although the belt filter press (BP) is resistant to fluctuations in sludge properties, it has drawbacks such as low throughput, large equipment size, and high power consumption requirements for filter cleaning. The downsizing belt filter press (DSBP) was developed to overcome the weaknesses of the conventional BP by combining it with the filtrate immersion-type thickener. Demonstration tests were conducted using mixed raw sludge and digested sludge over the past year. For both types of sludge, the DSBP was confirmed to increase sludge throughput by a factor of more than 1.5 and to reduce moisture content more than 1 pt in comparison to the BP. The DSBP was able to reduce moisture content 6 pts more than the conventional BP by injecting polyferric sulfate (PFS) after concentrating sludge to 8% TS. It was suggested that the polymer dosage could be optimally controlled through image analysis of the immersion-type thickener filtrate. Image analysis to quantify BP cloth clogging was also confirmed to effectively facilitate automatic intermittent cleaning operations.

ベルトプレス脱水機は、難脱水汚泥に強いが処理量が低い、機器が大きい、ろ布洗浄に要する動力が大きいなどの課題を有していた。ベルトプレス脱水機 (BP) にろ液浸漬型濃縮装置を組み合わせることにより、BPの特長はそのままに、従来の課題を克服した「ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機 (DSBP)」を開発した。昨年度は混合生汚泥と消化汚泥の2種類の汚泥に対して実証試験を実施し、いずれの汚泥においても、高効率型BPに比較し、DSBPはろ過速度 1.5 倍以上で含水率は 1pt 以上低減できることが確認された。DSBPは汚泥をTS8%程度まで濃縮してからポリ硫酸第二鉄 (PFS) を注入する「後注入二液」により、高効率型BPに比較して含水率を 6pt 低減できることも示された。また、ろ液浸漬型濃縮装置のろ液を画像解析することによる薬注率の最適化制御やBPのろ布目詰まりを画像解析することによる自動間欠洗浄運転が行えることが確認された。

キーワード：下水汚泥、脱水、後注入二液、画像解析

Keyword：Sewage, Dewater, Post injection of polyferric sulfate, image analysis

1. はじめに

現在主流となっているスクリープレス脱水機は、脱水性の良い混合生汚泥において、低動力、低含水率、高処理量で運転できるものの、消化汚泥などの難脱水汚泥の場合、SS回収率が悪化し、高薬注率の運転(薬品代 増)や処理量を落とした運転(運転時間 増)を余儀なくされるケースが多い。

一方、旧来からあるベルトプレス脱水機は、処理量が低い、常時洗浄のため洗浄水量が多い、機器が大きく臭気対策が難しいなどの課題がある。しかしながら、適応性が高く難脱水汚泥に対して安定した運転ができるという特長から、現在でも重宝されている。

そこで月島機械は、ベルトプレス脱水機にろ液浸漬型濃縮装置「ロノッシュTM」を組み合わせることにより、ベルトプレス脱水機の長所はそのままに、上記課題を克服した「ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機 (DSBP)」を開発した。本稿では、DSBPの技術概要、実証試験で得られた結果、および実設備の導入検討結果について報告する。

2. 技術概要

2.1 全体フロー

ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機 (DSBP) のシステム構成を図1に示す。DSBPは大きく分けて、濃縮部(ろ液浸漬型濃縮装置)と脱水部(ベルトプレス)から構成される。

まず、処理対象となる汚泥にポリマーが注入され、ミキサーで急速攪拌を行った後、凝集混和槽による緩速攪拌で凝集汚泥を形成させる。凝集汚泥はろ液浸漬型濃縮装置の上部に投入され、スクリーで下方に搬送されながらスクリーンにより固液分離が行われ、汚泥濃度 (TS) 8% 程度まで濃縮される。濃縮された汚泥は、濃縮汚泥引抜きポンプによりフィード装置に供給される。また、濃縮された汚泥にポリ硫酸第二鉄 (PFS) を注入することにより脱水汚泥の含水率を大幅に低減することが可能である。濃縮された汚泥は、高濃度対応型フィード装置に投入され、汚泥の厚み・幅方向とも均された後、圧搾ロールにより脱水されて脱水汚泥として排出される。

2.2 ろ液浸漬型濃縮装置の特長

ろ液浸漬型濃縮装置の構造を図2に示す。

本装置は、ケーシング内をろ液で満たし、スクリーンをろ液に浸漬(水没)させている点が大きな特徴である。スクリーンをろ液に浸漬させることによるメリットは以下の2点である。

①微圧ろ過により高いSS回収率、安定運転が可能

スクリーン外側を大気開放にした場合、汚泥の水頭圧力 (10kPa 以上) がスクリーン面にかかるため、SS回収率を悪化させ、スクリーンが目詰まり濃縮性能の悪化を招くとともに安定した運転が行えなかった。本装置はスクリーンをろ液に浸漬させることにより、スクリーン面にかかる圧力を2kPa 程度の微圧にすることができ、高いSS回収率と目詰まりの少ない安定した運転を行うことが可能となった。

②濃縮汚泥の濃度を任意に調整することが可能

スクリーン外側を大気開放にした場合、濃縮機から排出されるろ液の流量 (濃縮度合い) をコントロールすることができないため、濃縮汚泥の濃度を任意に調整することはできず成行きとなっていた。ろ液浸漬型濃縮装置は、濃縮機から排出されるろ液の流量をコン

トロールすることが出来るため、濃縮汚泥の濃度を任意に調整することが可能となった。実際には、濃縮汚泥の流量をポンプによりコントロールしているが、2つのアウトプット(ろ液と濃縮汚泥)のうち、片方の濃縮汚泥の流量をコントロールすることができれば、必然的にろ液の流量もコントロールすることが可能である。

2.3 ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機の特長

ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機 (DSBP) の構造を図3に示す。

DSBPは、ろ液浸漬型濃縮装置とベルトプレス脱水機が1つのパッケージとなって構成されている。ろ液浸漬型濃縮装置によりTS8%程度まで濃縮してから脱水するメリットは以下4点である。

①ろ過速度が1.5 倍に増加

DSBPは、従来の高効率型ベルトプレス (高効率型BP) に比べて、ろ過速度を1.5 倍に増加することができる。すなわち、DSBPろ布幅2m 機は、高効率型BPろ布幅3m 機と同等の処理能力を有することとなる(機器のサイズダウン)。

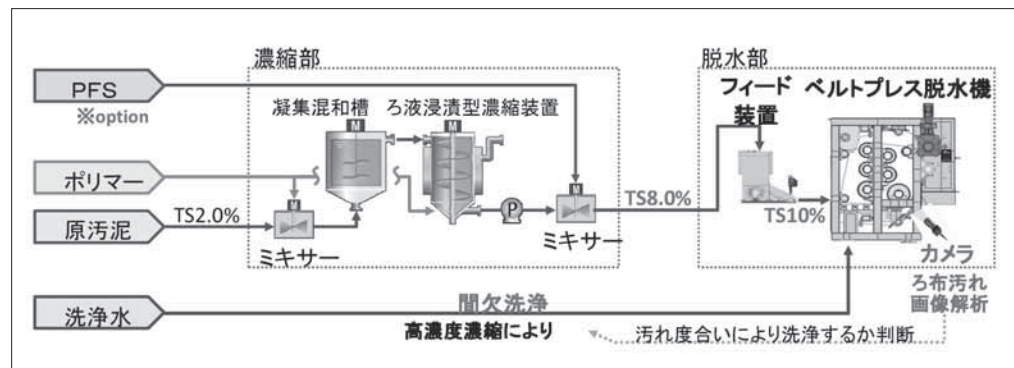


図1 DSBPのシステム構成
Fig.1 Schematic flow of DSBP

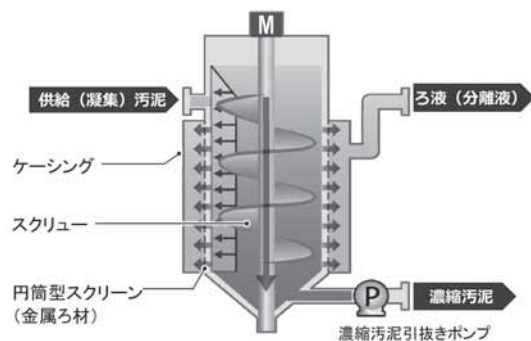


図2 ろ液浸漬型濃縮装置の構造
Fig.2 Structure of the filtrate immersion type thickener

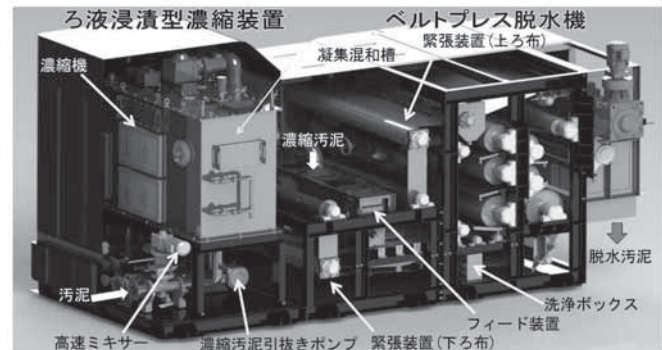


図3 DSBPの構造
Fig.3 Structure of DSBP

②重力ろ過ゾーンおよびウエッジゾーンの省略

脱水機の前段で汚泥のろ過濃縮が完了しているため、重力ろ過ゾーンを省略することが可能となった。DSBPは、ろ過速度1.5倍UPによる機器サイズダウン、重力ろ過・ウエッジゾーンの省略により、総合的には高効率型BPに比べて設置面積を25%削減した。

③後注入二液による含水率の低減

汚泥をTS8%程度まで濃縮してからポリ硫酸第二鉄（PFS）を注入する「後注入二液」により、脱水汚泥の含水率を低減することが可能となった。消化汚泥の場合、PFS添加率20%で含水率を5pt低減することが可能である。

④ろ布の常時洗浄が不要（後注入二液、混合生汚泥の場合）

従来の高効率型BPは、重力ろ過ゾーンでの水抜きを維持するために運転中は必ずろ布を洗浄する必要があった。DSBPは、前段で汚泥のろ過濃縮が完了しているため、脱水性の良い混合生汚泥や後注入二液であれば、ろ布が多少目詰まっても洗浄せずに一定時間運転することが可能となった。また、ろ布の目詰まり状況を画像解析し数値化することにより、ある一定値以上になったらろ布洗浄を行うシステム（間欠洗浄）を開発中である。

3. 実証試験

3.1 実証フィールド

混合生汚泥および消化汚泥の2種類の汚泥に対して実証試験を実施した。表1に実証フィールドの概要を示す。

表1 実証フィールドの概要 Table1 Summary of demonstration plant		
項目	A処理場	B処理場
水処理方式	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法
水処理能力	日平均 1,765m ³ /日	日平均 29,340m ³ /日
濃縮方式	重力濃縮	分離濃縮
汚泥種	混合生汚泥	消化汚泥

3.2 実証設備概要

ろ液浸漬型濃縮装置はろ過面積1.0m²機とし、ベルトプレス脱水機はろ布幅0.5mを使用して検証試験を行った。また、脱水機については、機器を組み替えることにより高効率型BPとDSBPの両方の構成で検証が行える構造となっている。

表2に目標性能を示す。消化汚泥および混合生汚泥とも、脱水機の調整因子（濃縮汚泥濃度、ろ布張力、ろ布速度など）を調査した上で、最適条件にて目標性能を達成できるか調査を実施した。

表2 目標性能 Table2 Target performance	
項目	目標性能
ろ過速度	高効率型BP×1.5倍
薬注率	高効率型BP 同等
含水率	高効率型BP 同等
SS回収率	高効率型BP 同等

4. 調査結果

4.1 混合生汚泥

表3に調査結果のまとめ、図4および図5にろ過速度と含水率の関係を示す。

表3 調査結果まとめ Table3 Comparison between conventional BP and DSBP				
項目	通常時		余剰リッチ時	
	高効率型BP	DSBP	高効率型BP	DSBP
ろ過速度	kg-DS/mh	190	379 (2.0倍)	229 (1.9倍)
薬注率	%	0.7 (同等)	0.6 (同等)	0.6 (同等)
含水率	%	73.0	71.6 (1.4pt減)	77.0 (2.5pt減)
SS回収率	%	93	98 (同等以上)	94 (同等以上)

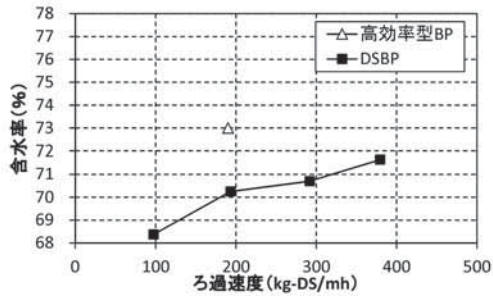


図4 ろ過速度と含水率の関係(通常時)
Fig.4 Relation between sludge throughput and moisture content (normal sludge)

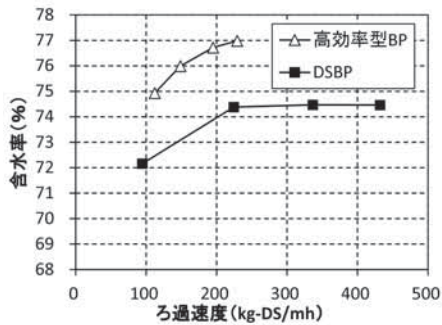


図5 ろ過速度と含水率の関係(余剰汚泥リッチ)
Fig.5 Relation between sludge throughput and moisture content (rich in excess sludge)

日本下水道事業団の性能表に記載されている高効率型BPの標準性能は、ろ過速度120kg-DS/mhで含水率は77%となっている。実際の高効率型BPの運転結果（余剰リッチ時）は、ろ過速度229kg-DS/mhで含水率77%であり、余剰リッチでも脱水性は良好であった。DSBPについては、ろ過速度432kg-DS/mhで含水率74.5%となっており、高効率型BPに比べて約1.9倍のろ過速度で含水率を2.5pt低減させることができた。通常時についても同様、DSBPは高効率型BPに対して約2倍のろ過速度で含水率を1.4pt低減することができた。

4.2 消化汚泥

表4に調査結果のまとめ、図6にろ過速度と含水率の関係を示す。

表4 調査結果まとめ Table4 Comparison between conventional BP and DSBP			
項目		高効率型BP	DSBP
ろ過速度	kg-DS/mh	73	135 (1.8倍)
薬注率	%	2.2	2.2 (同等)
含水率	%	82.7	81.9 (0.8pt減)
SS回収率	%	98	98 (同等以上)

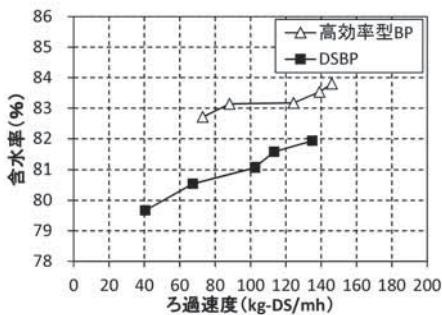


図6 ろ過速度と含水率の関係
Fig.6 Relation between sludge throughput and moisture content

日本下水道事業団の性能表に記載されている高効率型BPの標準性能は、ろ過速度60kg-DS/mhで含水率は83%となっている。実際の高効率型BPの運転結果は、ろ過速度73kg-DS/mhで含水率は82.7%であり、標準性能に近い性能となっていた。DSBPについては、ろ過速度113kg-DS/mhで含水率81.6%となっており、高効率型BPに比べて約1.5倍のろ過速度で含水率を1.1pt低減することができた。

以上より、混合生汚泥および消化汚泥のいずれにおいても表2の目標性能を達成できることを確認した。

4.3 後注入二液の検証結果

汚泥をTS8%程度まで濃縮した後にポリ硫酸第二鉄（PFS）を注入する後注入二液法式により含水率が低下するか検証を実施した。対象汚泥はB処理場の消化汚泥とし、ろ過速度は90kg-DS/mh一定でポリ硫酸第二鉄（PFS）の添加率を変化させて検証を行った。図7に検証試験の結果を示す。

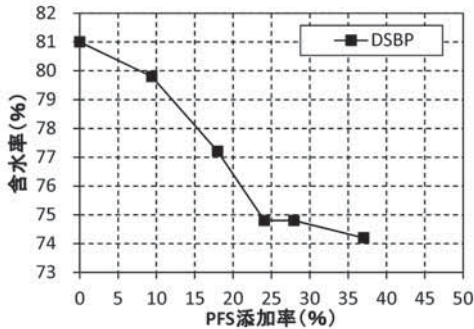


図7 後注入二液の結果
Fig.7 Results of PFS post injection system

PFS添加率25%までは添加率を増加させると含水率は直線的に低下した。PFSを25%添加した場合、ポリマー一液に比べて含水率を6pt低減することができた。

4.4 自動運転の取り組み

4.4.1 画像解析による薬注率の制御

(1) 概要

脱水機の性能は凝集（薬注率）で決まるといっても過言ではない。それほど、凝集（薬注率の調整）は脱水機にとって重要なパラメーターであり、薬注率を最適にするための取り組みが各社行われている。その1つが凝集フロックの大きさを画像解析により測定して、薬注率が最適かどうかを判断するものである¹⁾。しかしながら、凝集フロック同士が重なり合って撮影されるため、フロック1粒の大きさを正確に検出できないなどの理由により普及に至っていない。また、脱水機のろ液SS濃度から薬注率を制御する方式も検討されているが²⁾、SS濃度は薬注率だけでなく機械側の運転条件にも影響を受けることから、ろ液のSS濃度だけで薬注率を制御することは難しい。

そこで、ろ液に含まれるSS濃度のほかに、SSの凝集度合いを画像解析により数値化することにより、これら2つのパラメーターを使って薬注率を制御するシステムを開発中である。凝集工程で注入したポリマーの量が多いほど、ろ液に残留するポリマーが多くなるためSSが再凝集して大きくなるが、ポリマーの注入量が少ないほど再凝集しないためSSは細かく懸濁する。これらの違いを画像解析により判断し、薬注率を最適に制御するシステムである。

(2) 検証方法

ろ液浸漬型濃縮装置のろ液オーバーフロー部にKEYENCE社製のカメラを設置し、ろ液の状態を撮影した。画像解析のツールとしては、色面積およびエッジピクセルを利用した。図8にカメラの設置場所を示す。

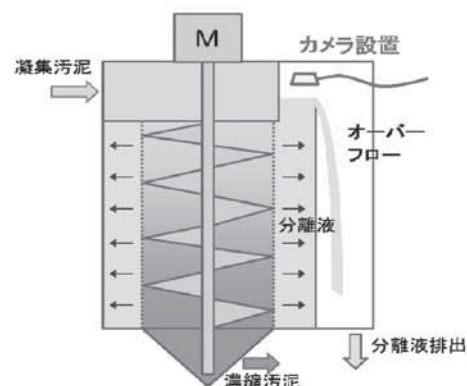


図8 カメラ設置場所(ろ液画像解析)
Fig.8 Location of camera for image analysis of filtrate

①色面積

検知したい色を設定(今回はSS成分の色を設定)し、その設定した色が撮影した全面積に対して何%占めているのか解析するツールとなっている。予めSS濃度が既知のろ液を複数撮影して解析を行い、「SS濃度」と「色面積」の相関を把握しておく。本解析結果に基づいて、実際の運転で排出されるろ液を撮影して色面積を求めることでSS濃度を推定することが可能となる。

②エッジピクセル

ろ液に懸濁している全てのSSの周長を総ピクセル数として算出する機能である。ろ液に残留しているポリマーが少なくSSが細かく懸濁している場合には、SSの輪郭をカメラで判別することが難しくなり、エッジとして検出されないため総ピクセル数は小さくなる。一方、ろ液の残留ポリマーが多く再凝集によりSSが大きくなるとエッジとして検出されるため総ピクセル数は大きくなる。色面積とエッジピクセル単独では、薬注率が最適であるかを判断することは難しかったが、これらを組み合わせることにより判断可能となる。

(3)検証結果

①色面積によるSS濃度の推定結果

濃縮装置の運転条件を調整し、ろ液のSS濃度を意図的に変化させて調査を実施した。図9に色面積によるSS濃度の関係を示す。色面積が増加するにしたがってSS濃度も上昇していることが分かる。色面積とSS濃度には良好な相関があり、ろ液をカメラで撮影し画像解析することによって、ろ液のSS濃度を推定できることを確認した。

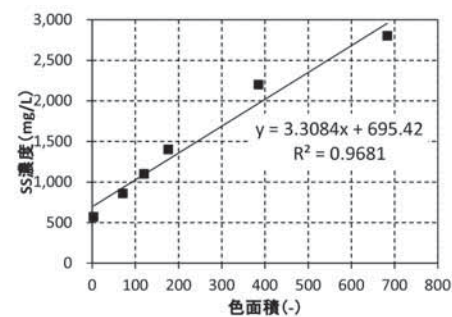


図9 色面積とSS濃度の関係
Fig.9 Relation between detection area and SS concentration

②最適薬注率の判断結果

表5に実際に撮影したろ液の写真と画像解析の結果を示す。

薬注率0.55%のろ液は清澄であるが、薬注率を下げるとSSが懸濁しているのが分かる。これを色面積ツールにより画像解析を行うと、いずれもSSの色を検知し、色面積として捉えることができた。一方、エッジピクセルツールにより画像解析を行うと、薬注率0.55%ではSSが再凝集して大きくなるためエッジとして検出することができたが、薬注率0.35%の場合には、SSが細かく懸濁しすぎており、エッジとして検出することができなかった。

表5 画像解析の結果
Table5 Results of image analysis of filtrate

	生画面	色面積画面	エッジピクセル画面
薬注率 0.55%			
薬注率 0.40%		—	—
薬注率 0.35%			

これらの結果を図10にまとめる。薬注率0.35%の場合、ろ液に浮遊するSSが小さすぎエッジとして検出されないため、色面積(SS濃度)にかかわらずエッジピクセルの値は横ばいとなった。

薬注率0.55%の場合、ろ液に残留するポリマーの量が多くSSが再凝集するため、ほぼ全てのSSをエッジとして検出した。したがって、色面積(SS濃度)が高いほど、エッジピクセルも高くなった。薬注率0.45%の場合は、一部のSSは再凝集してエッジとして検出されるが、一部はSSが小さくエッジとして検出されないため、薬注率0.35%と0.55%の中間的な傾向を示していた。薬注率により色面積とエッジピクセルの関係が異なるため、薬注率0.55%の近似曲線に沿うように運転することにより薬注率を最適に制御することが可能となる。

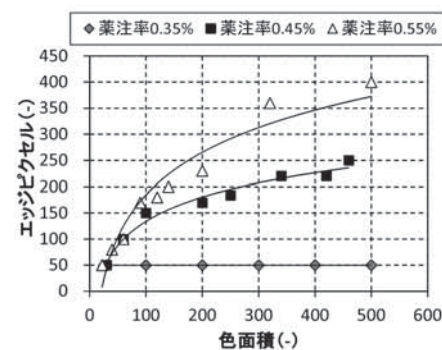


図10 色面積とエッジピクセルの関係
Fig.10 Relation between detection area and the sum of edge pixel

4.4.2 ろ布目詰りカメラ(間欠洗浄)

(1)概要

DSBPは、ろ液浸漬型濃縮装置により脱水機の前段でろ過濃縮が完了しているため、高効率型BPに比べてろ布目詰りの影響を受けにくい。本システムでは、ろ布をカメラで撮影し、画像解析することにより、ろ布の目詰りを数値化可能か検証するとともに、ろ布洗浄を停止しても運転可能か検証を行った。

(2)検証方法

ケーキ排出部後段にカメラを設置し、ろ布の目詰り状況を撮影した。図11にカメラの設置場所を示す。画像解析のツールとしては、ろ液の画像解析と同様、色面積を利用した。

まず、ろ布洗浄有りで脱水機を運転し、その後ろ布洗浄を停止し、180分経過後にろ布洗浄を再開した。それぞれの色面積(ろ布目詰り)と含水率を測定し評価を行った。

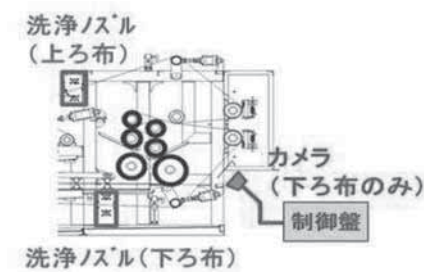


図11 カメラ設置場所(ろ布目詰り検出)
Fig.11 Location of camera for image analysis of belt filter

(3)検証結果

図12に検証結果、図13に洗浄有無におけるろ布の写真を示す。

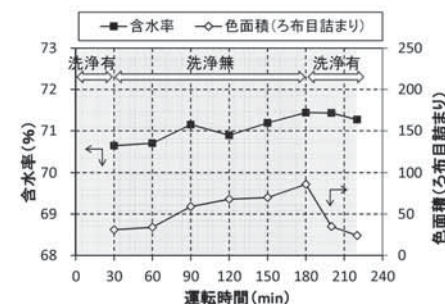


図12 間欠洗浄の運転結果
Fig.12 Results of intermittently washing of belt filter press

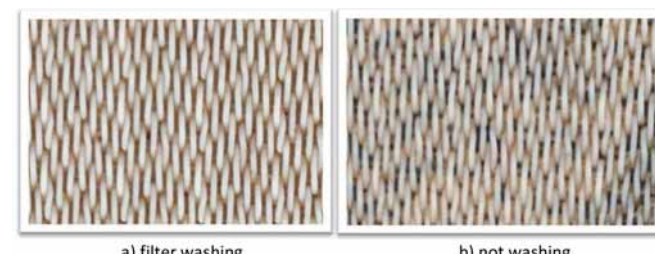


図13 洗浄有りと洗浄無しのろ布の写真
Fig.13 Comparison between a) filter washing and b) not washing

ろ布洗浄を停止すると、ろ布目詰りの指標である色面積が上昇した。運転時間180分経過後に再度ろ布洗浄を行った結果、色面積(ろ布目詰り)は、最初の洗浄有りと同じレベルまで低下しており、再洗浄によりろ布を復帰できることが確認された。洗浄無しのろ布と洗浄有りのろ布を比べると、明らかに洗浄無しのろ布の方が目詰りを起こしており、画像解析によりろ布目詰りを定量化できることが明らかとなった。したがって、今回の調査においては、ろ布目詰りの指標である色面積が100以下であれば、含水率に影響を与えずに運転出来ると判断される。

色面積(ろ布目詰り)と含水率の関係を特定することにより、DSBPは色面積がある値以上になったら洗浄を行う「間欠洗浄」が可能であることが示唆された。

5. まとめ

本研究により、以下の示された

- ①消化汚泥を対象にした実証試験の結果、DSBPは高効率型BPに比べてろ過速度約2倍で含水率を1.4pt低減することができ目標性能を達成した。
- ②混合生汚泥を対象にした実証試験の結果、DSBPは高効率型BPに比べてろ過速度約1.5倍で含水率を1.1pt低減することができ目標性能を達成した。
- ③汚泥をTS8%程度まで濃縮してからPFSを注入する後注入二液の検証を行った結果、PFS添加率20%で含水率は76%となり、高効率型BP(一液)に比べて含水率を6pt低減することができた。
- ④ろ液浸漬型濃縮装置から排出されるろ液をカメラで撮影し、画像解析を行うことにより、ろ液のSS濃度を推定できるほか薬注率の制御に利用できることが示唆された。
- ⑤ベルトプレス脱水機のろ布目詰り状況をカメラで撮影し、画像解析を行うことにより、ろ布の目詰り度合いを数値化できることが確認された。また、この数値に基づいてろ布の間欠洗浄が可能であることが示された。

ベルトプレスは40年以上前に導入された脱水機であるが、ダウンサイジング型ベルトプレス(DSBP)は、従来機の課題を克服するとともに薬注率の自動制御が加わり、新たに生まれ変わることに成功した。今後は、四季を通じた運転の長期安定性や他の汚泥種への適用について検証予定である。

参考・引用文献

- 1) 冠城敏之, 玉本博之, 曾根啓, 廣繁直治, 河崎博一, 菅谷謙三: 汚泥フロックの画像解析による凝集制御技術の開発, 学会誌「EICA」, 第15巻, 第2・3合併号, pp209-212 (2010)
- 2) 株式会社西原環境テクノロジー: SD遠心脱水装置カタログ

新型吊下分離機の開発

Development of Fully Automatic Batch-type Centrifuge



阿部 研
ABE Ken

産業事業本部
単体機器技術部
設計第1グループ

Abstract

Tsukishima Kikai began development of a fully automatic batch type centrifugal in 2016 to acquire the top position in the Southeast Asian sugar production market.

To increase throughput 33% over the existing model, all parts were renovated, including the main component units such as the basket and bearings.

To meet the hygiene demands of the food industry such as preventing risk of contamination, the centrifugal uses the highly evaluated “upward-opening basket valve system”.

A prototype of the centrifugal, with a capacity of 1.85tons/batch, began load running tests on August 2,2018.

The test site is Dangchang factory of Mittr Phol Sugar Corp.,Ltd., the largest sugar production group in Thailand.

月島機械の砂糖用吊下分離機の主要市場であるタイやインドネシア等の東南アジアにおいて、性能と価格の総合評価でトップの地位を獲得する為、2016年から新型機の開発を開始した。

月島機械の従来機と比較し、33%処理量を増加させる為、バスケットや軸受部等の基幹部においても構造を一新した。又、従来機が有する競合他社との差別化機構は踏襲しつつ、更に要求レベルが高くなっているコンタミ防止等の顧客要望にも対応できる様にした。

2018年8月より、タイの砂糖グループ最大手である Mittr Phol Sugar Corp.,Ltdの Dangchang 工場、実機と同サイズの実証試験機の運転を開始した。

キーワード：砂糖用分離機、処理量増加、コンタミ防止、省エネ

Keyword：Sugar centrifuge, Throughput increase, Non-contamination, Energy saving

1. はじめに

吊下分離機は製糖用分離機として広く普及しており、月島機械における海外向の主力製品のひとつである。

また、月島機械の分離機製品の中でも自社設計品であり、過去から現在に至るまで改良を重ねてきた。近年、ヨーロッパの競合他社がタイや中国での生産を開始し、市場価格が低下し価格競争が一層激しくなっている。安価な中国の後進メーカーも、吊下分離機の性能を示す一時間あたりのサイクル数は月島機械の分離機と遜色ないレベルに向上してきている。

これに対応するため、2013年より50台/年のロット生産や海外製造を実施し、2016年度及び2017年度は60台前後の受注を獲得してきたが、性能面及び価格面での優位性を向上させなければ受注台数の増加は期待できない。新型吊下分離機の開発は、月島機械の主要市場である東南アジアにおいて、顧客より性能面、価格面での総合評価でトップの地位を獲得することを目指し、2016年度から実施してきた。本稿では、この開発技術について紹介する。

2. 開発コンセプト

目標性能は、ヨーロッパ競合の最新スペックや実際の運転状況を現地確認し、実液運転で24cycle/hrとした。目標コストは市場価格を把握し、価格競争で対抗できるコストとした。

これを実現させるため、従来機が有する競合他社との差別化構造は踏襲しつつ、基幹部であるバスケットや軸受部も含め構造を一新することとした。なお、構造を変えるにあたり、従来機に対する顧客要望を把握し、これを実現できるものとした。

3. 開発技術

3.1 バスケットの軽量化

駆動モーターの容量を増加させればサイクル数は増加するが、消費電力が増加し、ランニングコストがアップする。一方、サイクル数を増加するには回転体の慣性モーメントを小さくする事が有効であり、バスケット

(回転体)の軽量化設計を行った。

バスケットの軽量化は、バスケット径を小さくし、高さを高くすること(L/Dを大きくすること)が有効な手段である。加速時の遠心力に起因するバスケットシェルに加わる応力が小さくなるため、シェル板厚を薄くできるためである。

ただし、バスケット高さを高くすると、図1に示す様に、供給されるマセキッ(砂糖結晶と濃縮糖液の混合物)はシェル板に設置されるスクリーンに均一に供給されにくくなり、運転中の振動が増加したり、分離した砂糖品質にばらつきが発生するリスクが生じる。

本開発では、バスケットの最適なL/Dを決定するため、ヨーロッパ競合の最新型を含めてバスケットのL/Dを調査し、実際の運転状態も確認した。供給されるマセキットの性状が変化すると、L/Dが大きすぎる場合、運転中の振動が大きく所定の供給量を供給できない事も確認した。この調査結果と応力計算結果を付き合わせ、最適なL/Dを決定した。この結果、月島機械の従来機と比較し、バスケットは100kg軽くなり、慣性モーメントは4.6%小さくなった。

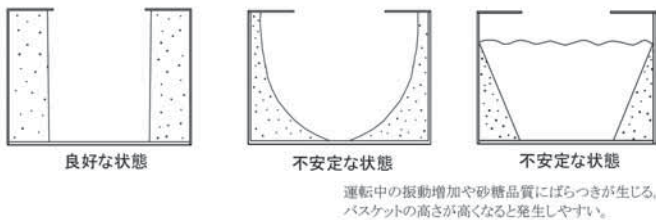


図1 バスケットへのマセキッ供給状態
Fig.1 Acceptable and unacceptable case of a massequite layer

3.2 砂糖掻き取り時間の短縮化

競合他社との差別化機構として、バスケットバルブを上方に持ち上げて砂糖を排出する機構がある。砂糖排出時以外は、バスケットバルブがバスケット底面に乗り、砂糖排出開口部を塞ぐため、マセキッや洗浄水のシール性が保たれる。顧客評価も高く、この機構は新型機でも踏襲することにした。

一方、この機構の欠点として、分離後の砂糖排出時にスクレーパによる掻き取り動作を行うが、バスケットバルブのコーン部が砂糖流れを阻害し、このコーン部で砂糖が滞留してしまうため、スクレーパが下降しづらくなり、掻き取り時間を短縮できないという事象がある。

これを解決する掻き取り装置を実現させる為、スクレーパやコーン形状を変えた場合の砂糖の排出状況を視覚的に把握できるシミュレーション解析を行った。図2に砂糖排出シミュレーション結果を示す。

この解析結果に基づき、掻き取り装置のスクレーパやコーン形状の最適化を行った。

なお、砂糖の掻き取り残しを削減するために、従来機からスクレーパのカットイン方向を、バスケットの回転方向と同方向にカットインする正面掻き取り方式に変更した。スクリーンやスクレーパの損傷リスクが懸念されたが、これに対しスクレーパカットインを一定速とする等速機構を搭載することでリスク対応を行っている。

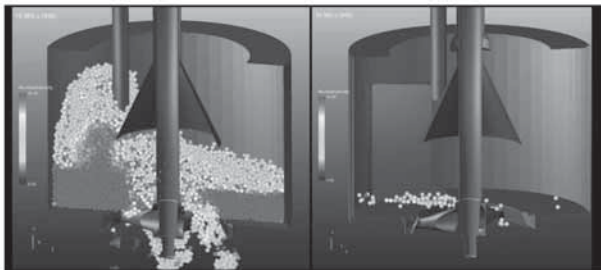


図2 砂糖排出シミュレーション結果
Fig.2 The simulation result of the sugar discharging

3.3 市場ニーズの変化に対応する構造変更

3.3.1 コンタミレス

砂糖へのコンタミ防止は、国内外問わず要求グレードが高まっている。この市場ニーズに対応する為、軸受部の潤滑をオイル潤滑方式からグリス潤滑方式に変更し、オイル漏れのリスクを減少させた。図3に軸受断面図を示す。

3.3.2 電気制御系のコストダウン

特に海外では、価格重視で分離機を購入したい顧客も存在する。大きなコストウェイトを占める駆動モーター及び制御盤は、従来は年間50台生産と制御盤一体化(インバータ・コンバータ等ドライブシステムとPLC等の制御部品を1つの盤に格納する)で価格を抑えてきたが、製造メーカーを限定してしまうデメリットがあった。

本開発では、PLC等の制御部品を現場操作盤に搭載し、インバータ・コンバータ等ドライブシステムを複数メーカーに発注できる様にした。図4に新型機の現場操作盤を示す。電気品の日本製品の信頼性は、海外においても認知されており評価は高いが、価格重視のお客様には海外メーカーの適用も考慮しなければならず、これを容易にすることも目的である。

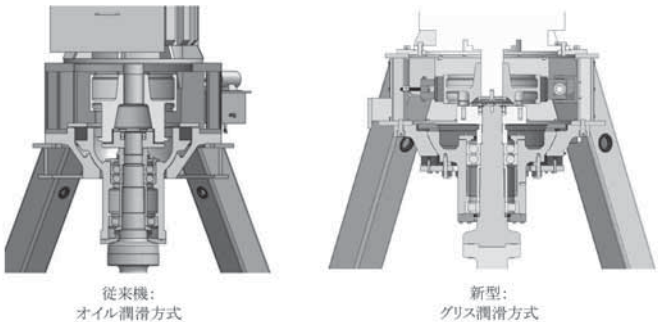


図3 軸受断面図
Fig.3 Structural drawing of the bearing unit

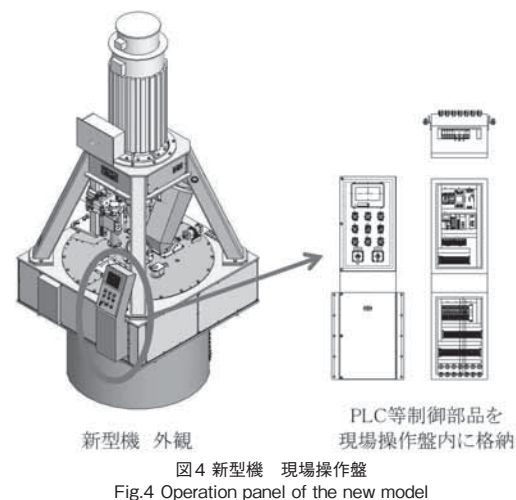


図4 新型機 現場操作盤
Fig.4 Operation panel of the new model

4. 実証試験

実機と同サイズ (1.85ton/hr)である実証テスト機を製作し、市川工場での無負荷運転確認を経て、2018年8月より現地サイトで実証試験を開始した。現地サイトは、当社の吊下分離機の主要市場であるタイの最大手であるMitr Phol Sugar Corp.,LtdのDangchang工場である。トラブル時の製品へのリスクを考慮し、排出された砂糖を再溶解する洗糖ラインに設置した。図5に実証テスト機の外観を示す。

現時点では、50%の供給量で25.9cycle/hrの性能を確認している。100%供給量で24cycle/hrの性能が達成された場合、月島機械の従来機と比較して33%の処理量増加となる。また、実証テスト機に対して、Dangchang工場からは、砂糖の掻き取り残しが少ないことに対して高評価を頂いている。さとうきび収穫時期である2018年11月～2019年4月迄、供給量を増加した場合の性能確認を行い、商用機の仕様を確定する。

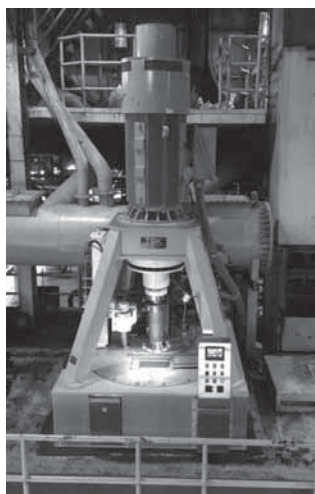


図5 実証テスト機 外観
Fig.5 The prototype of the 1.85ton/batch centrifugal

5. おわりに

月島機械の吊下分離機の主要市場であるタイでは、12工場の増産、6工場の新設認可がタイ政府からおりている。各工場では、EIA(環境影響評価)の認可を待っている状況ではあるが、2018年以降認可があり、5年程度は建設ラッシュが続くと予想される。性能と価格の総合評価で、No.1の吊下分離機であるとの顧客評価が得られる様、新型吊下分離機の開発を成功させ、顧客の期待に応えていく所存である。

6. 謝辞

実証試験フィールドをご提供頂いたMitr Phol Sugar Corp.,Ltd様並びにDangchang factory様に厚く御礼申し上げます。また、競合他社調査にご協力頂いたコンサルタントのMr.Gilles Schrével氏に深く感謝の意を表させていただきます。

ろ液浸漬型濃縮装置「ロノッシュ™」

Filtrate Immersion-type Thickener



後藤 秀徳

GOTO Hidenori

水環境事業本部
ソリューション技術部
下水グループ

Abstract

The filtrate immersion-type thickener is capable of stable, high-concentration thickening and arbitrary concentration settings of 6% or more. Sewage sludge charged into the screen is transferred downward by the screw, and filtration separation proceeds on the screen surface. By adjusting the withdrawal flow rate of the thickened sludge at the bottom, it is possible to discharge sludge at high concentrations.

The filtrate occupies the structure between the casing and the screen, and filtration is conducted with a slight differential pressure of about 2 kPa. The filtration cake layer is constantly scratched by the end face of the screw, almost completely preventing clogging. Furthermore, backwashing with compressed air and washing with water from the outer surface of the screen facilitates long-term stable operation.

ろ液浸漬型濃縮装置とは6%以上の安定した高濃度濃縮かつ任意の濃度設定が可能な機械濃縮装置である。スクリーン内へ投入された汚泥はスクリーにより下方へ移送されつつスクリーン面にてろ過分離が進行する。最下部にて濃縮された汚泥の引抜き流量を調整することで高濃度に濃縮された汚泥を排出することが出来る。ケーシング-スクリーン間にはろ液で満たされる構造となっており、ろ過は2kPa程度のわずかな差圧にて行われる。ろ過ケーキ層はスクリー端面により常時掻き取られるため目詰まりの起きにくい特性を持つ。更にスクリーン外面より圧縮空気によるパルス洗浄や洗浄水による逆洗が行える機能を備えており、長時間の安定した運転を可能としている。

キーワード：下水汚泥、濃縮装置、浸漬、微圧ろ過
Keyword: Sewage sludge, Thickener, Immersion, Filtration with slight differential pressure

1. はじめに

下水道施設における汚泥処理方法の一つとして濃縮が用いられている。一般的に濃縮とは固形物濃度1%程度の汚泥を3～4%まで高めることで汚泥を減容化し、脱水や消化といった後段プロセスの負荷を減らす方法を指す。

濃縮は重力を利用した重力濃縮と機械の力を利用した機械濃縮に大別される。機械濃縮には様々な機構の装置が存在するが、汚泥処理量や処理方式に則し各下水道施設に適用されている。月島機械は6%以上の安定した高濃度濃縮かつ任意の濃度設定が可能な機械濃縮装置として、ろ液浸漬型濃縮装置「ロノッシュ™」を開発したので、本稿にて紹介をする。

2. ろ液浸漬型濃縮装置

ろ液浸漬型濃縮装置とは凝集汚泥を金属ろ材でろ過することにより水を分離させて濃縮させる装置である。ろ材の2次側が大気開放ではなく水で満たされていることから、ろ材前後の差圧が2kPa程度と低い。

微差圧でろ過濃縮が行われるため、ろ材の目詰まりが起りにくい構造となっている。

図1に基本構造を示す。本装置は主に以下4つの構成要素から成り立つ。

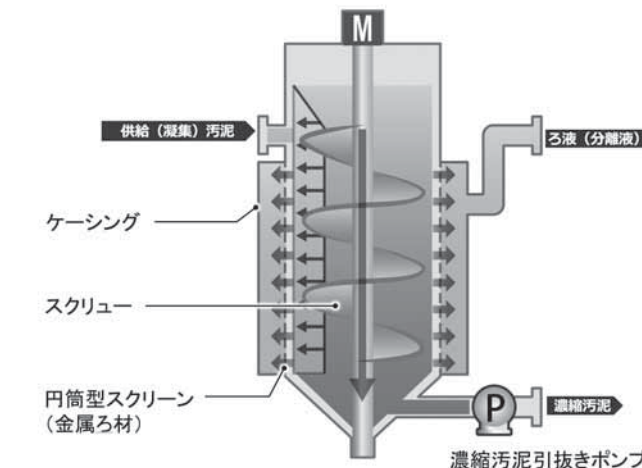


図1 基本構造
Fig.1 Basic structure

- (1) ケーシング：円筒型スクリーンをろ液で水没させるためのものである。スクリーンとケーシングの間をろ液で満たすことによりスクリーン内外の差圧を低くし、ろ過速度を下げることで、ケーキ層の成長による目詰まりを抑制するとともにスクリーンからの目漏れを減らすことが出来る。
- (2) スクリュー：スクリーン内面のケーキ層を掻き取りながら凝集汚泥を下方方向に搬送するためのもので、任意の回転数に設定することが可能である。
- (3) 円筒型スクリーン：汚泥をろ過するための金属ろ材である。パンチングメタルを採用しており、適用汚泥に応じて最適な孔径が選定できる。
- (4) 濃縮汚泥引き抜きポンプ：スクリーン内で濃縮された汚泥を引き抜くポンプで、引き抜き量の調整が可能である。

3. 濃縮汚泥濃度制御

図2に濃縮汚泥濃度制御のイメージを示す。

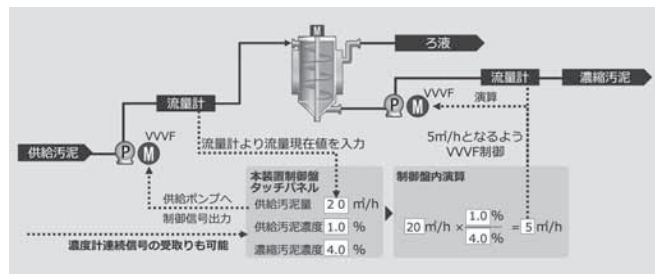


図2 濃縮汚泥濃度制御イメージ
Fig.2 Thickened sludge concentration control image

供給汚泥中の固形分がすべて濃縮汚泥に移行すると仮定した場合、供給汚泥濃度×供給汚泥量＝濃縮汚泥濃度×濃縮汚泥量＝固形分量であることから

$$\text{濃縮汚泥濃度} = \frac{\text{供給汚泥量} \times \text{供給汚泥濃度}}{\text{濃縮汚泥量}} \quad \text{の関係が導かれる。}$$

よって所定の濃縮汚泥濃度を得るには、供給汚泥濃度を測定しつつ、供給汚泥量と濃縮汚泥量の比率流量制御を行えば良い。また同制御は自動で行われるため、供給汚泥濃度が大きく変動した場合においても、濃縮汚泥は一定濃度で排出することが可能である。

図3に濃縮汚泥濃度10%設定にて24時間連続運転を行った際の供給汚泥濃度および濃縮汚泥濃度の分析値推移を示す。

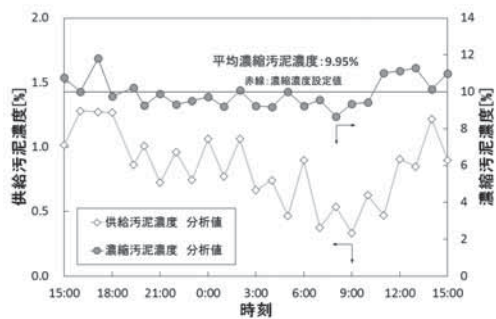


図3 供給汚泥濃度と濃縮汚泥濃度の分析値推移
Fig.3 Analysis value transition of supply sludge concentration and thickened sludge concentration

供給汚泥濃度が0.3～1.3%と値が4倍以上変動しているのに対し、濃縮汚泥濃度の変動幅は、設定値10%の±2割程度の範囲に収まっていることがわかる。

4. 洗浄機構

本装置は圧縮空気と洗浄水による2種類の洗浄機能を備えている。図4に空気洗浄イメージおよび水洗浄イメージを示す。

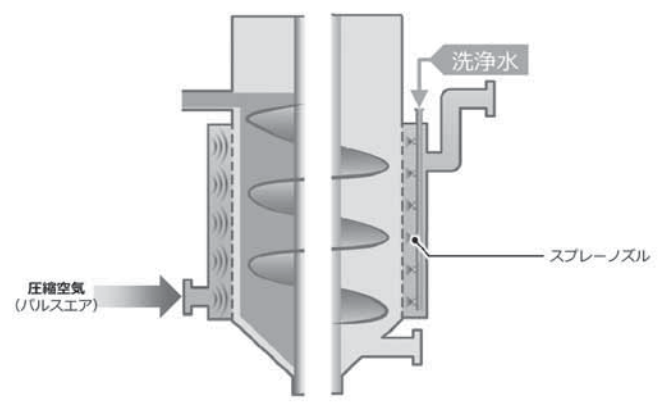


図4 空気洗浄イメージおよび水洗浄イメージ
Fig.4 Air cleaning image and water cleaning image

空気洗浄は、濃縮装置実施時に圧縮空気をスクリーン外面にパルスブローすることによって、スクリーンの洗浄を行う。水洗浄は、濃縮操作停止時にケーシング内の液を抜いた後、スクリーンを回転させつつスクリーン外面に洗浄水を吹き付けることで、スクリーン付着物の完全除去を行う。各洗浄操作は自動で実施されるため、長時間安定した無人連続濃縮操作を行うことが出来る。

5. 特徴まとめ

- 以上をまとめると本装置は以下の特徴を持つ。
- (1) 微圧ろ過により安定した濃縮運転が可能。更に濃縮汚泥濃度を任意に設定出来るため、最大10%までの高濃度濃縮が可能である。
- (2) スクリーン内外の差圧は2kPa程度と低く、目漏れが少ない。よって供給された固形物の回収率は非常に高く、過去の運転実績に基づく平均SS回収率は98%程度である。
- (3) 空気洗浄と水洗浄の自動運転機構を有しており、長時間安定した無人連続濃縮操作が可能。また水洗浄は濃縮操作停止時のみ行うため、必要水量が少なく消費電力も低い。
- (4) コンパクトで大処理量であるため、濃縮装置単体として既設脱水機に後付けすることが可能である。
- (5) 縦型構造のため、必要設置面積が小さい。

6. ろ液浸漬型濃縮ユニット

月島機械では様々な需要に対応できるように、ろ液浸漬型濃縮装置を凝集混和槽と高速ミキサーと組み合わせたユニットについても商品化している。図5にユニットイメージを示す。

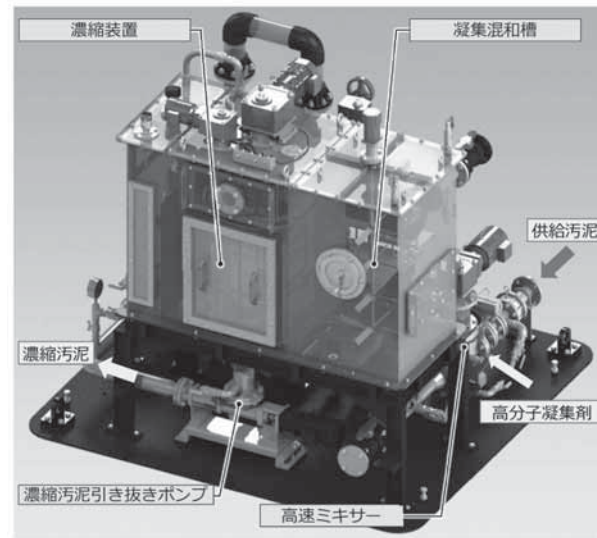


図5 ユニットイメージ
Fig.5 Unit image

高速ミキサーに注入された高分子凝集剤は汚泥中で十分に分散された後、凝集混和槽で汚泥を凝集させる。凝集汚泥は濃縮装置にてろ過濃縮され、濃縮汚泥引き抜きポンプにて濃縮汚泥を引き抜き排出させる。

7. 装置の適用例

本装置の適用例を以下に示す。本装置は脱水機に対する補機、濃縮機単体での運用等、様々な適用が図ることができる。

- 適用(1)：混合生汚泥の脱水前濃縮
混合生汚泥を脱水機直前段で濃縮し、高濃度にて安定化させることにより、脱水機処理能力の向上、含水率の低減が可能となる。
- 適用(2)：直接脱水
従来、機械濃縮していた余剰汚泥を未濃縮のまま重力濃縮汚泥と混合させた汚泥を、本装置にて濃縮後脱水することが可能となる。これにより余剰濃縮の設備が不要となる。
- 適用(3)：重力濃縮槽の代替
一般的に生汚泥濃縮で用いられている重力濃縮は濃縮を重力沈降のみに依存しているため、汚泥性状や季節変動の影響により十分な濃縮性能が得られないケースが多い。また、帯留時間が長い場合夏場は特に汚泥が腐敗し、臭気の発生、消化ガス量の低減など様々な問題を引き起こすことが知られて

いる。本装置にて代替することにより生汚泥濃度を容易に安定化させ、高いSS回収率の達成、汚泥の腐敗抑制が可能となる。図6にイメージを示す。

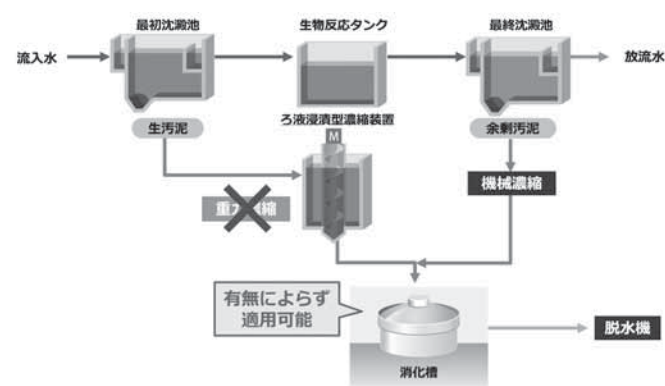


図6 重力濃縮槽代替イメージ
Fig.6 Gravity thickener replacement image

8. おわりに

本装置は6%以上の安定した高濃度濃縮が可能であり、かつ濃度調節が容易なため、様々な汚泥・各処理場・各脱水機に対して最適な濃縮条件を設定することが出来る。

また本装置により、脱水汚泥含水率の低減・脱水機処理量増加や、直接脱水時において機械濃縮設備が不要となり、必要薬品量を減らす効果も期待できるため、環境負荷低減に貢献出来ることが期待される。

BOKELA DYNO Filter



メック フランツ
FRANZ Meck

BOKELA GmbH
Marketing Dep.



本間 友基
HOMMA Tomoki

産業事業本部
事業統括室
欧州事務所

Abstract

The dynamic crossflow filtration with the DYNO Filter differs from conventional crossflow filtration by special process and apparatus features. In the DYNO Filter the tangential suspension flow over the filter medium - the main characteristic of crossflow filtration - is mechanically generated with the help of rotors and not by a pump. This principle together with the special apparatus design of the DYNO filter offers important process advantages and allows the realization of special process designs for different separation tasks such as dynamic membrane filtration, dynamic sieve filtration and dynamic precoat filtration which is the latest process development with the DYNO Filter.

DYNOフィルタによるダイナミッククロスフローろ過機は使用用途が特殊であり、装置の特徴が従来のクロスフローろ過機とは異なる。DYNOフィルタでは、クロスフローろ過の主な特徴であるろ過ろ材の接線方向の懸濁液流れは、ポンプではなくローターの助けを借りて機械的に発生させている。

DYNOフィルタの特殊装置設計によって生まれるクロスフローろ過操作はプロセス面で利点を生み出し、また、様々な分離作業（ダイナミック膜ろ過、ダイナミック篩ろ過、および最新技術であるダイナミックプレコートろ過）によって特殊なプロセスデザインが可能となる。

Keyword：Dynamic Crossflow Filtration, Concentration, sieving, etc

1. はじめに

近年の化学産業では、ナノ素材などといった新素材の開発が盛んに行われており、微粒子への適用が可能なダイナミッククロスフローろ過機への関心が高まってきている。DYNOフィルタはダイナミッククロスフローろ過機の一つであり、その独特な機構により、従来のろ過機では不可能であった様々な用途への適用を可能としているろ過装置である。本稿では、DYNOフィルタの原理、特長やその適用事例の一例を紹介する。

2. DYNO フィルタの原理と特長

2.1 装置設計と作動原理

DYNOフィルタは、密閉チャンバー内に一列に配置された円盤状のフィルターモジュールで構成される（図1）。

各フィルターモジュールは、チャンバーリングと、ろ材が両面に取り付けられた2つのフィルター固定プレートから構成される。

各々のモジュール中心部には開口があり、各々のチャンバー内に配置されるスラリー回転羽根を固定するシャフトがその開口部を貫通している。最大ろ過面積は12m²となる。原液スラリーは供給ポンプの圧力により最初のチャンバーに供給され、フィルター固定プレートとフィルターシャフトの隙間を縫ってチャンバーから次のチャンバーへと蛇行しながら流れる。加えられた圧力によって液体はろ材を通過し、その液はフィルター固定板のろ液溝を通じて連続的に排出される。それぞれのチャンバーからろ液が排出されるので、濃縮液の固形物濃度はチャンバーを通過するごとに増加する。

濃縮液は最終チャンバーに設置された排出バルブを介して排出される。

また個々のチャンバーへは、洗浄液または他の必要な処理液を個別に供給することもできる。

回転羽根は、ろ材の接線方向にクロスフロー流を発生させ、可変速によって速度勾配の調整が可能である。

クロスフロー流により、ろ材表面には透過液の通過抵抗が非常に小さい薄い固形層しかできないため、固体粒子によるろ材の閉塞が回避される。

回転羽根はスラリーを均一化させるだけでなく、洗浄液をスラリー中に均一混合するため、優れた希釈洗浄効果を発揮する。さらに、回転羽根は濃縮されたスラリーをチャンバーから次のチャンバーへ送り出すことを促進している。また、羽根の回転速度が可変であるので、回転速度を制御することで意図的にプレコート層となる固形物粒子層を形成することが可能である。（ダイナミックプレコートろ過）

2.2 分離プロセス

DYNOフィルタは、様々な分離プロセスに対して種類の異なるろ材種類の使用が可能である（表1）。

高粘度、固有の粘性またはチキソトロピー^{*1}特性などの特徴的な分離特性を持つスラリーろ過において、DYNOフィルタは高いろ過性能を維持したまま連続運転処理することができる。

^{*1} ゲルのような塑性固体とゾルのような非ニュートン液体の中間的な物質が示す性質で、粘度が時間経過とともに変化するもの。

＜膜ろ過＞

DYNOフィルタは膜ろ過装置としてスラリーの濃縮、洗浄および/または清澄化にも使用される。そのような精密ろ過操作に対しては、0.01～1.0μmの範囲の細孔径を有する膜が適用される。

＜ダイナミック篩ろ過＞

DYNOフィルタを用いたダイナミック篩ろ過により、微粒子を含むスラリー中から粗粒子を分離することができる。高粘性・高濃度の懸濁液であっても、優れた分級性能と高い処理速度で連続的に篩い分けすることが可能となる。微細粒子および母液が篩ろ材を通過する間に、より大きな粒子は篩ろ材上に保持され、チャンバー内で濃縮されて高濃縮残留スラリーとして排出される。篩ろ過では、20～100μmの粒子分離サイズに対し特殊設計された多層メッシュが使用される。

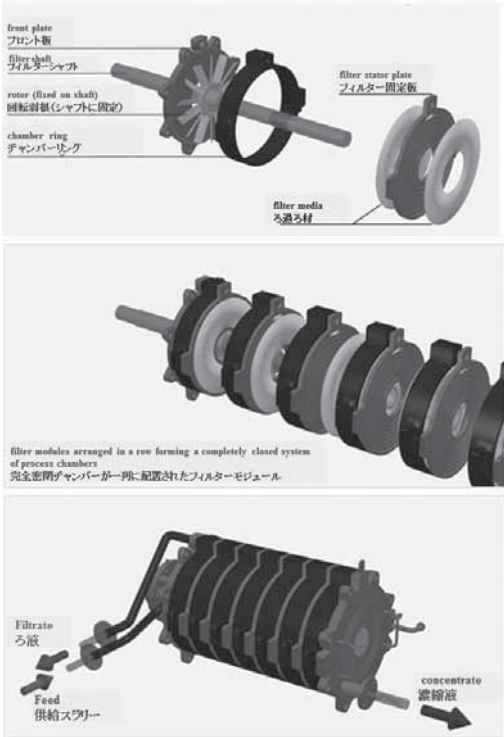


図1 DYNOフィルタのモジュール構造
Fig.1 Modular structure of the DYNO Filter

＜ダイナミックプレコートろ過＞

ダイナミックプレコートろ過は最新の開発技術である。製品粒子そのものがろ材上に薄いケーキ層として形成され、それがプレコート材となることによりすべての粒子を捕集し、完全に清澄なろ液を得ることが可能な技術である。

2.3 DYNO フィルタの主な特長

DYNOフィルタの装置적およびプロセス的な特長は次のとおりである。

- ・連続運転が可能
- ・粒子を100%捕捉する完全ろ過が可能
- ・精密ろ過膜、限外ろ過膜、焼結樹脂、セラミック膜、特別に開発した焼結篩ろ材、金属ろ材など数多くのろ材が適用可能
- ・初期濃度・粘度が高いスラリーでも高い処理速度得られる
- ・洗浄水、プロセス液を自由に加えることが可能
- ・強力な液混合が可能（沈降分離・分級が発生しない）
- ・低～中速度の羽回転速度のため、摩耗による異物混入が発生しない
- ・密閉加圧状態の防爆構造
- ・経済性を考慮したプロセス管理による自動操作

表1 DYNOフィルタによる分離プロセス
Table1 Separation processes with the DYNO Filter

	membrane filter 膜ろ過	sieve filter 篩ろ過	filter with metallic media (precoat filtration) 金属ろ材（プレコートろ過）
separation target 分離の目的	Clear filtration 清澄ろ過	classifying 分級	Clear filtration 清澄ろ過
main application 主な適用例	thickening, washing, clear filtrate スラリー濃縮、スラリー洗浄、ろ過清澄化	Separation and concentration of coarse particles – fine particles pass with the filtrate 粗粒子の分離濃縮 ・微粒子はろ液側へ	Generate clear liquid and recycling of solid particles back to the process ろ液を清澄化させ、固形物粒子はプロセスへ戻す
rotor speed 回転羽根速度	high 高速	medium - high 中速 - 高速	low - medium 低速 - 中速
filter medium ろ材	membranes 膜	metallic sieves (defined square mesh) 平織り金属篩	metallic media 金属ろ材
backflush cycle 逆洗浄サイクル	—	5 – 120 s (ca. 0,5 s) 5-120秒間隔で0.5秒間逆洗	0,5 – 24 h (ca. 2 – 60 s) 0.5-24時間間隔で2-60秒間逆洗
valuable product 製品	solids / filtrate 固形物/ろ液	filtrate ろ液	solids / filtrate 固形物/ろ液
pressure difference ろ過差圧	medium – high 中圧 - 高圧	low 低圧	medium 中圧

3. ろ過機のサイズ

DYNO フィルタは、さまざまなモジュール径と0.13m²～12m²のろ過面積の中から選択することができる。0.013m²のDYNO-TEST 機によって研究室内でのテストが可能である。また、0.4m²のパイロットテスト機では実際に近い条件下での試験が可能であり、プロセススケールアップに対して信頼できる結果を得ることができる。

4. DYNO フィルタの適用例

膜ろ過装置としてDYNO フィルタを使用する場合、精密濾過または限外ろ過プロセスの0.01μm 以上の粒子を含むスラリーを比類のない高濃度にまで濃縮することができる。

- 代表的な処理物質は以下のとおり。
- ・硫酸バリウム、炭酸カルシウム、カオリン、二酸化チタンなどの白色顔料(図2参照)
- ・酸化鉄系顔料
- ・ナノアパタイトなどのナノスケール製品
- ・豆乳
- ・医薬品
- ・発酵残渣

ダイナミック篩ろ過としてDYNO フィルタを使用する場合、微粒子を含むスラリーから5μm 以上の粗い粒子を分離することができる。

代表的な取り扱い製品は以下のとおり。

- ・メラミン
- ・ポリマー懸濁液
- ・粗糖シロップ
- ・カカオバター

ダイナミックプレコート濾過においては、BDO (ブタンジオール) 製造プラントで触媒(Dp50 =3μm)を回収するために、24 台の10m²フィルターユニットが稼動している。

ろ液量を一定に保持できること、触媒が反応液中に懸濁された状態で高濃度に濃縮されること、触媒が反応機の外に滞留している時間が短いことなどのプロセス上の優位性から、中国のBDO生産者に採用された。

今後もDYNO フィルタの優れた特長を活かし、樹脂や食品等々様々な分野での経験値をつみ、販売につなげて行きたい。

5. まとめ

DYNO フィルタの基本原理やその適用事例について紹介させていただいた。今後もDYNO フィルタの適用処理物、適用プロセスを更に広げていくべく、拡販へ注力していきたいと考えている。

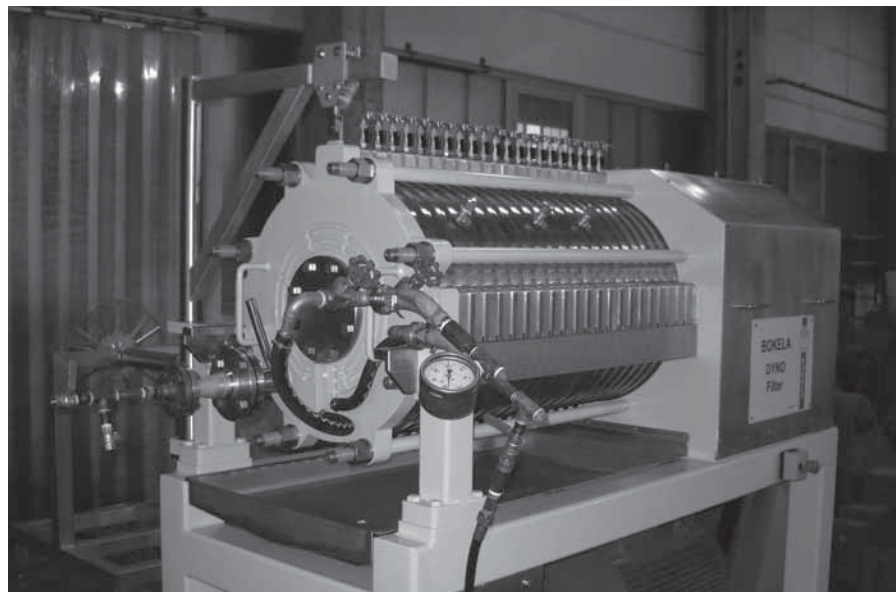


図2 酸化チタン濃縮洗浄用8m² DYNO Filter
Fig.2 DYNO Filter with 8 m² for concentrating and washing of titanium dioxide

多段型水平ベルトフィルタ

Multi Stage Horizontal Belt Filter



陳 貴吉
CHEN Kuei chi
産業事業本部
単体機器技術部
プロセスグループ

Abstract

This newly developed multi stage horizontal belt filter has multi stage horizontal filtration area and offers advantages over the conventional belt filter in installation area and cake washing performance.

One disadvantage of the conventional horizontal belt filter is the large installation area required. This newly developed filter requires only about half the installation area of a conventional filter. Additionally, each filtration stage can be operated as parallel and single series. Therefore, substituting cake washing and diluting cake washing can be combined by applying re-slurring tanks. This cake washing system can reduce pore particle impurity content not possible with a conventional horizontal belt filter.

The multi stage horizontal belt filter can be applied as a replacement for other types of filtration equipment in a limited installation area, and also for applications requiring very high cake washing performance.

多段型水平ベルトフィルタを新たに開発した。多段型水平ベルトフィルタは、従来の水平ベルトフィルタのろ過面を多段構造にした新しい真空ろ過機である。従来の水平ベルトフィルタに比べ、設置面積の点とケーキ洗浄性能の点で優れる。

従来の水平ベルトフィルタは、設置面積が大きいことが欠点であったが、多段型水平ベルトフィルタは多段構造のため、設置面積が半分以下になる。また、多段型水平ベルトフィルタは、1 台で平行して、複数の異なる行程の処理が可能である。そのため、リスラリタンクと組み合わせることで、置換洗浄とリスラリ洗浄を組み合わせたケーキ洗浄ができる。このケーキ洗浄方法により、従来の水平ベルトフィルタで洗浄できなかった、粒子の細孔中の不純物も洗浄できるようになった。

今後、多段型水平ベルトフィルタは、設置面積に制限がある他機種からの更新工事への適用や、徹底的にケーキを洗浄することが要求される高品質品のろ過工程への適用が見込まれる。

キーワード: 多段型水平ベルトフィルタ、省スペース、高いケーキ洗浄能力
Keyword: Multi stage horizontal belt filter, small installation area, high quality cake washing performance

1. はじめに

水平ベルトフィルタは、化学工業会社、鉄・非鉄工業会社、食品工業会社等の民間事業向けで販売しているろ過機である。主な適用物質はABS樹脂、BPA樹脂、水酸化マグネシウム、トナー、アトマイズ鉄粉等である。民間事業向けろ過機の主力製品であり、特に連続処理性とケーキ洗浄性に特長を持つ。40年以上前に水平ベルトフィルタ初号機を納入してからこれまで、納入実績は約300台である。近年、この水平ベルトフィルタに改良を加え、多段型水平ベルトフィルタを開発し、製品化した。多段型水平ベルトフィルタは、水平ベルトフィルタの欠点であった設置面積の大きさを改善し、優位点であったケーキ洗浄性をさらに高めた機器である。本稿にて、この多段型水平ベルトフィルタを紹介する。

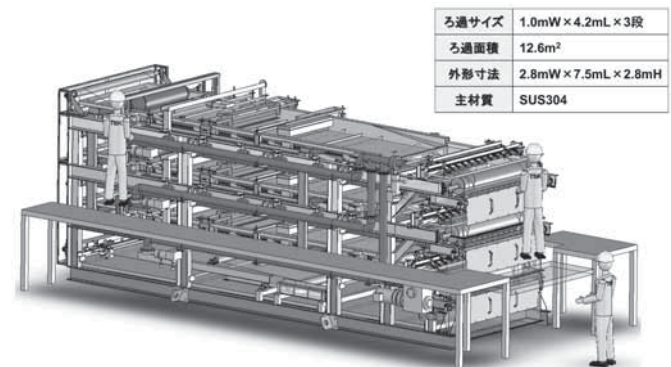


図1 多段型水平ベルトフィルタ イメージ図
Fig.1 Image of multi stage horizontal belt filter

2. 多段型水平ベルトフィルタの機構・構造

多段型水平ベルトフィルタは、名前の通り、従来の水平ベルトフィルタのろ過面を多段構造にしたろ過機である。そのため、主な機構、構造、構成部品は、従来の水平ベルトフィルタと同様である。

ろ過機の分類としては、ろ布走行式ろ過面水平型連続式真空ろ過機に類する。形状はベルトコンベアに似ており、機械的な動きは下記のとおりである。各種ロールにエンドレス状に巻かれたろ布が、ゴムライニングされたドライブロール（ろ布駆動装置）により引っ張られ、連続的に走行している。ろ布の水平走行分の下部には、ろ布上部のスラリを真空ろ過するための真空トレイがある。ろ過操作は半連続式に行われ、通常20秒から60秒間ろ過し、4秒間ろ過を中断するサイクルを繰り返す。真空トレイは、このろ過のOn-Offに連動して前進、後退を繰り返す。ろ過時は、真空トレイはろ布ともに前進し、中断時はトレイ駆動装置のシリンダにより素早く後退する。

次に、スラリの処理の流れは下記ようになる。まず、真空トレイ上にスラリが供給され、真空ろ過される。次に、ろ過されたケーキは、ケー

キ洗浄装置により置換洗浄される。最後に、ケーキ洗浄装置で洗浄されたケーキは、脱液され、排出される。ろ過操作は半連続的に行われるが、スラリの供給やケーキの排出は連続的に行われる。

多段型水平ベルトフィルタでは、このろ過・洗浄・脱液操作が各段で個別に行われる。各ろ過段のスラリ、洗浄液が混ざることはないため同じスラリを処理するだけでなく、不純物濃度の異なる、スラリを処理することも可能である。そのため、図3のようにリスラリタンクを組み合わせることで、従来のろ過機では行えなかった、置換洗浄とリスラリ洗浄を組み合わせたケーキ洗浄操作を行うことができる。この組み合わせ洗浄により、従来の水平ベルトフィルタでは洗浄できない、粒子の細孔中の不純物も洗浄できるようになり、高いケーキ洗浄性能を発揮することができる。

この組み合わせ洗浄方式を実施した例を図4に示す。本例では硫酸を含む活性炭ケーキを洗浄している。活性炭はポーラス状の粒子で、置換洗浄方式での洗浄が難しい粒子である。この実施例が示すように置換洗浄とリスラリ洗浄の組み合わせ洗浄方式は、従来の置換洗浄方式と比較して、高い洗浄性能を発揮している。

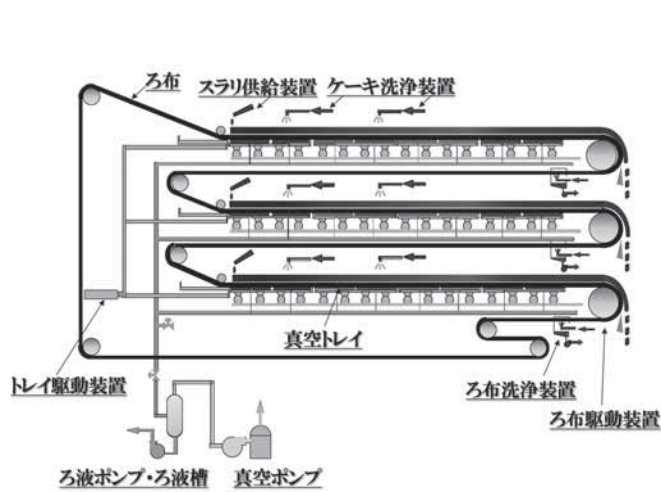


図2 多段型水平ベルトフィルタ 機構イメージ図
Fig.2 Mechanism of multi stage horizontal belt filter

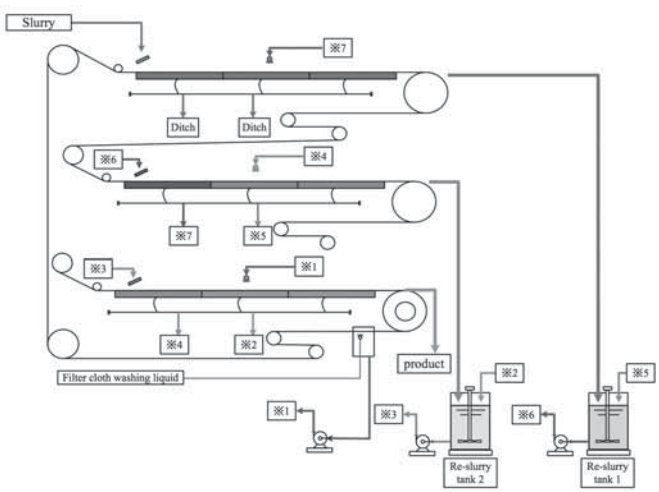


図3 多段型水平ベルトフィルタによる置換洗浄とリスラリ洗浄の組み合わせ洗浄
Fig.3 Combination of substituting and diluting cake washing with multi stage horizontal belt filter

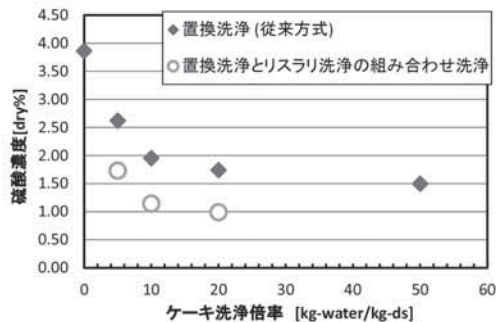


図4 各種洗浄操作のケーキ洗浄能力比較（硫酸を含む活性炭ケーキの洗浄）
Fig.4 Comparison of each cake washing method in case of activated carbon cake which include sulfuric acid

3. 多段型水平ベルトフィルタの優位点および他機種との性能比較

多段型水平ベルトフィルタは、水平ベルトフィルタを改善した機種で有り、水平ベルトフィルタの優位点をそのまま引き継ぐ機器である。そのため、他のろ過・分離機を比較して以下の優位性を持つ。

- ①水平ろ過面での均一な置換洗浄操作と自由に設計可能な広いケーキ洗浄エリアで行う徹底したケーキ洗浄操作により、高いケーキ洗浄性能を持つ。
- ②連続処理機の特性を活かし、大量処理が可能である。
- ③無人運転が可能であり、かつ構造がシンプルなため、メンテナンスが容易である。

上記に加え、多段型水平ベルトフィルタは以下の優位点を持つ。

- ①連続式水平ろ過機でありながら、多段構造のために設置面積が少なく、連続処理を行える他機種と同等程度である（表2）。
- ②置換洗浄とリスラリ洗浄を組み合わせたケーキ洗浄操作による高いケーキ洗浄性能を持つ。リスラリ洗浄操作を組み込むことで、置換洗浄では洗浄しづらい粒子の細孔中の不純物も洗浄可能である。

多段型水平ベルトフィルタは上記の特性を持つため、特にろ過性や脱水性の良い平均粒子径が10μm以上のスラリや、ケーキ洗浄性が特に重視されるスラリの処理においては、他機種に比べて強い優位性を発揮できる。

表1 ろ過機性能比較表
Table1 Comparison of each filter performance

	連続処理機				バッチ処理機
	多段型水平ベルトフィルタ	水平ベルトフィルタ	ドラムフィルタ	パンフィルタ	フィルタプレス
ろ過圧力	真空	真空	真空	真空	加圧
適用粒子径	○ 3～200μm	○ 3～200μm	△ 3～100μm	△ 50～300μm	○ 1～50μm
最適粒子径	○ 10～50μm	○ 10～40μm	△ 10～40μm	△ 100～300μm	○ 5～20μm
ろ過能力	△	△	△	×	○
洗浄能力	◎	○	△	○	△
脱水能力	×	×	×	×	○
大量処理 (ケーキ排出能力)	○	○	○	○	△
設置面積	○	×	○	○	×
メンテナンス性	○	○	○	○	△

表2 水平ベルトフィルタと多段型水平ベルトフィルタの据付面積比較
Table2 Comparison of installation area between horizontal belt filter and multi stage horizontal belt filter

機種	型式	ろ過面積	据付面積
水平ベルトフィルタ	3003型	12.6m ²	36.4m ²
多段型水平ベルトフィルタ	1003型 3段	12.6m ²	17.0m ²

4. 多段型水平ベルトフィルタの適用ケース

多段型水平ベルトフィルタは、その優位点を活かし以下のようなケースに適用できる。

- ①既存ろ過・分離設備の更新工事への適用
既設のドラムフィルタ、バッチ型遠心分離機等の更新時に、ケーキ洗浄性の改善を目的として水平ベルトフィルタが候補にあがることが多い。しかしながら、設置面積の関係で、他の機器の配置の変更を必要とする場合が多く、採用が見送られることがある。このような場合でも、設置面積が他機種と同等程度である多段型水平ベルトフィルタは、他の機器を移動させることなく設置できる。
- ②高度なケーキ洗浄性が求められるろ過設備への適用
高度なケーキ洗浄性が求められる処理物のプロセスでは、複数のろ過・分離機を用いてケーキ洗浄操作が行われる。このようなプロセスに、1台で置換洗浄操作とリスラリ洗浄を行うことができる多段型水平ベルトフィルタを適用することでプロセスを簡素化できるとともに、高い品質のケーキを得ることができる。主な対象処理物は、ポーラス状で洗浄が困難な活性炭やゼオライト、高い品質が求められる高機能性樹脂や電池材料等である。

5. まとめ

新製品である多段型水平ベルトフィルタの機構や特徴を紹介した。多段型水平ベルトフィルタは、設置面積とケーキ洗浄性能の点で優れる水平型真空ろ過機である。

今後、設置面積に制限がある他機種からの更新工事への適用や、徹底的にケーキを洗浄することが要求される高品質設備への適用が見込まれる。

標準型ベルトプレス性能向上のための改造手法の検証

Verification of Modification Method to Improve Performance of Conventional Belt Press Dewatering Machine



日諸 銀之輔
HIMORO Ginnosuke
月島テクノメンテサービス株式会社
エンジニアリング本部
プラント技術部
プラント技術課



小川 重治
OGAWA Shigeharu
月島テクノメンテサービス株式会社
エンジニアリング本部
水機械技術部
エンジニアリンググループ

Abstract

About 70% of sewage treatment plants throughout Japan include dewatering as a final process in treatment of sludge. To improve the efficiency of Operations and Maintenance in such plants, upgrades are needed to improve the performance of existing dewatering machines. However, with the recent trends of declining birthrate, aging population, and difficult financial circumstances for utilities, it is increasingly challenging for utilities to upgrade their existing facilities. Consequently, facilities are forced to operate beyond their useful life through service life extension upgrades and regular repairs. This paper thus analyzes the effect of performance upgrades to conventional belt press dewatering (BP) machines that improve their efficiency rather than simply repairing or extending the machines' service life. An experiment with the upgraded machine components, conducted at wastewater purification center "A" in Japan, verified improvement in dewatering efficiency meeting or exceeding that of other "high efficiency" BP machines, resulting in better facility operation.

全国の下処理場の約7割は汚泥の最終処理形態が脱水であり、維持管理の効率化を図るためには、脱水機の性能向上が必要である。一方、近年の少子高齢化の進展や顧客の財政状況が厳しさを増すなか、設備更新は困難であり、長寿命化や定期修繕により耐用年数を超えて運用されている状況である。

そこで、従来の延命化を目的とした修繕から一歩進め、性能向上の付加価値を付けた改造手法として、標準型ベルトプレス（以下標準型 BP）を対象に検討した。

A 浄化センターでおこなった実機スケールの検証実験の結果、高効率型 BP と同等以上の性能向上が確認され、設備運用面に対する効果も認められた。

キーワード：ベルトプレス脱水機、下水処理、汚泥脱水、改造手法
Keyword：Belt press dewatering machine, Sewage treatment, Sludge dewatering, Modification method

1. はじめに

全国の下処理場の約7割は汚泥の最終処理形態が脱水であり、維持管理の効率化を図るためには、脱水機の性能向上が必要である。一方、近年の少子高齢化の進展や顧客の財政状況が厳しさを増すなか、設備更新は困難であり、長寿命化や定期修繕により耐用年数を超えて運用されている状況である。

そこで、従来の延命化を目的とした修繕から一歩進め、性能向上の付加価値を付けた改造手法として、標準型 BP を対象に検討した。

A 浄化センターでおこなった実機スケールの検証実験の結果、高効率 BP 脱水機と同等以上の性能向上が確認され、設備運用面に対する効果も認められた。以下に詳細を報告する。

2. 標準型 BP の構造と改造手法について

2.1 標準型 BP の構造

図1に標準型 BP の概要を示す。標準型 BP は、図1の通り2枚の樹脂性ろ布で汚泥を挟み、各ろ過ゾーンを通過させることで脱水する機械である。

A: 重力ろ過ゾーン

ろ布の上に濃縮汚泥を供給することにより、汚泥自体の液位によって重力脱水する。

B: 加圧ろ過ゾーン

くさび状に設置されたロール間で、上下のろ布を加圧し、ろ布の進行と共に加圧脱水する。

C: 圧搾ろ過ゾーン

複数本のロールの間をS字状にろ布を通過させることにより、ロールの面圧により脱水する。

2.2 改造手法

図2に実験装置の概要を示す。適用した改造手法は次の通りである。

改造手法①：汚泥の高濃度化

濃縮装置を脱水機の前段に設け、供給汚泥を高濃度化し、ベルトスピードの低速化を狙うものである。濃縮装置は、従来の機械濃縮機よりも高濃度化が可能な「ろ液浸漬型濃縮装置¹⁾ロノッシュTM」を用いた。

改造手法②：圧搾ろ過ゾーンの改造

脱水機の圧搾ろ過ゾーンへロールを2本追加することにより、圧搾ゾーンの延長と圧搾回数の増加を図り、汚泥にかかる圧搾効果を高めることで、脱水汚泥水分の低減を狙う。

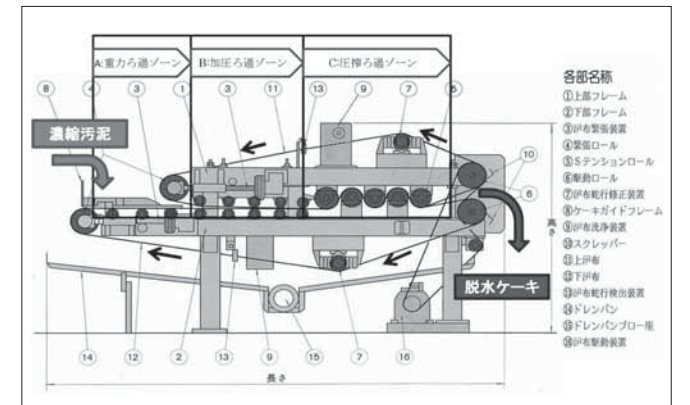


図1 標準型ベルトプレス構造図
Fig.1 Structural Drawing of Belt Press Dewatering Equipment

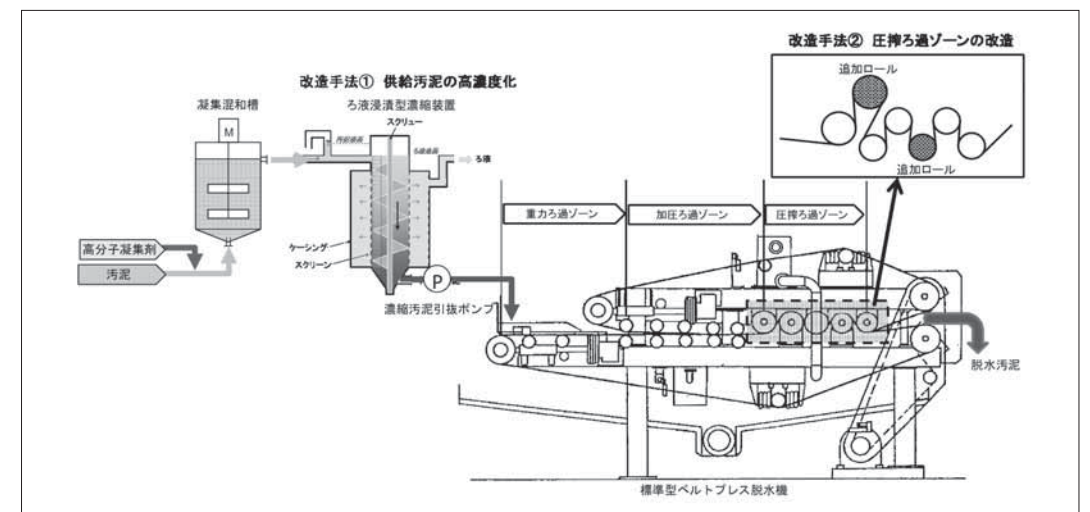


図2 実験装置概要
Fig.2 Outline of Equipments Used in Modification Method

3. 改造による実験結果と考察

3.1 改造前の状況

表1にA浄化センターの概要、表2に汚泥性状の一例を示す。脱水設備は、標準型と高効率型のBP脱水機各1台で構成される。脱水機は常時2台運転で、運転条件および脱水性能の比較は表3に示す通りである。場外処分の条件である「脱水汚泥水分84%以下」に対し、標準型はこれを満足するために、高効率型の半分以下のろ過速度で運転せざるを得ない状況であった。

表1 A浄化センターの概要
Table1 Outline of "A" Wastewater Purification Plant

水処理方式	標準活性汚泥法
汚泥処理	分離濃縮→消化→脱水→場外処分

表2 汚泥性状の一例
Table2 Properties of Sludge

汚泥種類	嫌気性消化汚泥
汚泥濃度	1.5%
pH	7.5
VTS	74%

表3 脱水機の性能比較(年平均)
Table3 Comparisn of Performance of Dewatering Equipments(Annual Avg.)

	標準型(ろ布幅1.5m)	高効率型(ろ布幅1.5m)
ろ過速度	22kg-ds/mh	55kg-ds/mh
薬注率	2.4%	2.0~2.2%
脱水汚泥水分	83~84%	81~82%
運転時間	10h/日	10h/日

3.2 実験結果

図2に示す改造手法①と②を適用した結果は次の通りであった。図3に実験結果を示す。

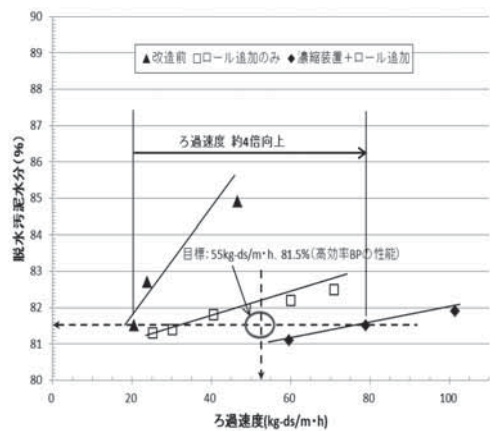


図3 改造適用による脱水性能の比較
Fig.3 Comparison of Dewatering Performance After Modification

3.2.1 圧搾ロール追加の効果(改造手法②を単独で適用)

図3に示す“改造前”と“ロール追加のみ”のデータより、脱水汚泥水分81.5%の条件で比較すると、改造前のろ過速度 20kg-ds/m・hに対し、圧搾ロールの追加により30kg-ds/m・hとなり、ろ過速度は1.5倍に向上した。さらに、水分82.5%の条件で比較すると、改造前のろ過速度25kg-ds/m・hに対し、圧搾ロールの追加により70kg-ds/m・hとなり、ろ過速度は2.8倍に向上した。

3.2.2 供給汚泥の高濃度化+圧搾ロール追加の効果(改造手法①と②を組み合わせて適用)

濃縮装置で供給汚泥を4～5倍に濃縮し、脱水機へ供給した。目標とした既設高効率 BP の性能 (55kg-ds/m・h 水分81%) に対し、同等以上の脱水性能の向上を確認した。また、図3に示すとおり、“改造前”と“濃縮装置+ロール追加”のデータでは、脱水汚泥水分81.5%の条件で比較すると、改造前のろ過速度20kg-ds/m・hに対し、圧搾ロールの追加により80kg-ds/m・hとなり、ろ過速度は4倍に向上した。更にろ過速度を100kg-ds/m・hまで上げても82%台で運転が可能であった。

3.3 考察

3.3.1 圧搾ロールの追加

(1) 脱水汚泥水分の低下

圧搾ロールの追加により、ろ過速度25～40kg-ds/m・hの範囲において、脱水汚泥水分は1～3ポイント低減した。水分低下の要因は、圧搾ロール2本を追加することで圧搾ろ過ゾーンの長さが改造前の2倍になったためと考察する。

(2) ろ過速度の向上

ろ過速度を上げる運転を行う場合、サイドリーク(ベルトの両サイドに汚泥が漏れること)を防ぐためベルトスピードを高める必要がある。ベルトスピードを高めると脱水時間が短くなるため、一般的に脱水汚泥水分は上昇傾向を示す。

改造前よりも高いろ過速度の範囲では、ベルトスピードを上げた運転となったが、圧搾ロール2本の追加で圧搾ろ過ゾーンが延長されたため、改造前よりも脱水汚泥水分の上昇が抑えられたものと考察する。

3.3.2 供給汚泥の高濃度化+圧搾ロール追加

(1) 脱水汚泥水分の低下

供給汚泥を高濃度化することによりサイドリークが抑制され、改造前よりもベルトスピードを低速化できたことで脱水時間が延長され、脱水汚泥水分が低下したものと考察する。

(2) ろ過速度の向上

供給汚泥の高濃度化によるサイドリーク抑制によりベルトスピードを低速化できたこと、更に圧搾ロール2本の追加で圧搾ろ過ゾーンを延長したこととの相乗効果で、圧搾ロール追加単独よりも更に脱水時間を長くでき、ろ過速度の向上につながったものと考ええる。

4. 設備運用面に対し期待できる効果

4.1 維持管理の効率化

A浄化センターにおいて、日々の発生汚泥量に対し、改造前は脱水機2台の日中10時間運転で対応していたところが、改造後の実験結果により1台の日中8時間運転で対応可能となった。

4.2 ランニングコストの低減

改造手法を取り入れた場合のランニングコスト(脱水汚泥処分費、電気代、薬品費)を試算し現状と比較した。本コスト試算にあたり、汚泥の脱水性の年間変動を考慮すると、本実験結果の性能を年間を通して確保できるか不明なため、脱水汚泥水分のみを標準型でも高効率型と同等となると仮定して試算した。

図4にその結果を示すが、脱水汚泥水分のみでも、年間ランニングコストを2.2%削減できることが分かった。

運転時間の削減等、その他効果を合わせれば、さらにコスト削減できると予想される。

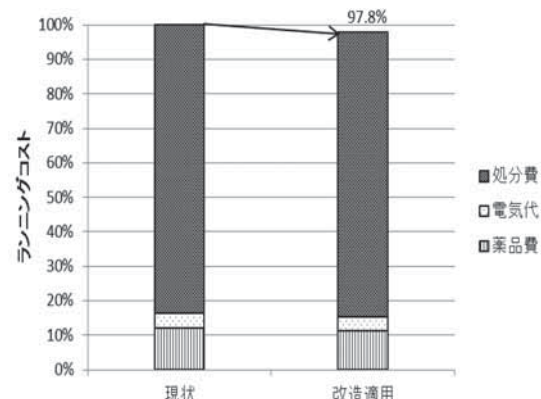


図4 ランニングコストの比較
Fig.4 Comparison of Running Cost

5. まとめ

既存の標準型BPの性能向上のための改造手法について検証を行った。A浄化センターで行った検証実験の結果、既設高効率型BPと同等以上の性能向上を確認した。

- ・圧搾ろ過ゾーンの改造(圧搾ロール2本の追加)でろ過速度が改造前の4倍に向上した。
- ・「供給汚泥の高濃度化(濃縮装置の付加)+圧搾ロール追加」により、目標とした既設高効率型BPと同等以上の性能発揮を確認した。
- ・改造による性能向上で、脱水機の運転台数が改造前の2台から1台に減少でき、効率的な維持管理が可能となった。
- ・わずかではあるが、ランニングコストの低減が見込まれる。
- ・従来の延命化を目的とした修繕から一歩進め、性能向上の付加価値をつけた修繕として展開可能と考える。

参考・引用文献

- 1) 西田ら：ろ液浸漬型濃縮装置の初沈汚泥濃縮への適用実証事例、第54回下水道研究発表会講演集、2017

スパイラル管凝縮法を用いた 燃焼排ガス中のアンモニウム塩分析技術紹介

開発本部 研究所 分析グループ 武田 龍二 日良 聡

1. はじめに

下水汚泥焼却炉から発生する燃焼排ガス中には、ダスト以外のガス状微量物質として、窒素酸化物、硫酸酸化物、アンモニア、塩化水素等が存在する。燃焼排ガス測定はガス成分やガス量を測定し、焼却設備が設計通りの性能を有し最終的に系外排出基準が守られているかを調査することが目的である。ダストの定義は、乾燥によって付着水分を除いた、ばいじん・粉じんなどの固体粒子である。ただし、ミスト中に含まれる可溶性物質などもダストとみなされる。

焼却炉内 (850℃) ではガス状で存在する物質の一部は、燃焼排ガス温度が300℃付近まで低下すると凝縮しダスト成分となる。例えば、アンモニア (NH₃)、硫酸ミスト (SO₃ や H₂SO₄)、塩化水素 (HCl)、臭化水素 (HBr) などの一部は硫酸水素アンモニウム (NH₄HSO₄)、硫酸アンモニウム ((NH₄)₂SO₄)、塩化アンモニウ

ム (NH₄Cl)、臭化アンモニウム (NH₄Br) を形成する。熱交換器から排煙処理塔を経て煙突から排出される過程において、これら塩類の一部は除去されずにダストの一部となって存在し、規制値を上回る要因物質となる。

本稿では焼却設備プロセスにおいて塩類として存在し、ダスト量へ影響を与える NH₄HSO₄、(NH₄)₂SO₄ や NH₄Cl 及び (NH₄Br) の分析技術を述べる。採取方法は硫酸ミスト分析に使用されているスパイラル管凝縮法を用いる。本法は硫酸ミスト採取⁽¹⁾が目的であるが、下水汚泥 (乾燥物) 中には有機物が80%以上 (窒素分としては約7%) 含有し、焼却されると窒素分の一部がアンモニアとなる。アンモニアは温度低下により燃焼排ガス中の硫酸ミストと塩化水素及び臭化水素と反応してアンモニウム塩となるため硫酸ミスト単独では存在しにくい。これらアンモニウム塩類はス

パイラル管内部に捕捉される。その後、水抽出して陽・陰イオンをイオンクロマトグラフで定量して燃焼排ガス中の各アンモニウム塩類を算出する。

JISによる硫酸ミスト分析規格は採取管吸着、ろ紙の材質の影響、SO₂の酸化、ろ紙バインダーとの反応などの懸念があり現在も定められていない。しかし、環境分析会社の一部はSO₃分析をスパイラル管凝縮法にて行っているのが現状であり、月島機械も下水汚泥焼却炉を主として多数の実績を積んでいる。

(*1)1980年以前JIS K0103 硫酸酸化物分析方法の解説

- ・三酸化硫黄 (SO₃) は燃焼ガス中に SO₂ の 1 ～ 5% 程度含まれているといわれている。
- ・370℃以上では蒸気状
- ・205 ～ 370℃では一部水分と反応して H₂SO₄ 蒸気
- ・205℃付近では H₂SO₄ 蒸気
- ・205℃以下では凝縮して一部液状 H₂SO₄ (硫酸ミスト)
- ・100℃ではほとんど硫酸ミストで H₂SO₄ 蒸気存在は 0.1 ppm 程度

2. スパイラル管凝縮法による採取方法

スパイラル管凝縮法による排ガス採取方法の一例を図1に示す。除塵用ウールにて除塵した燃焼排ガスを、80℃以上の温水に浸したスパイラル管 (外径8mm、内径6mm) へ 15 ～ 20 L/min で通過させる。高温燃焼排ガスを温水中で急冷することによって、スパイラル管内壁に対して慣性衝突を繰り返して生成する NH₄HSO₄、(NH₄)₂SO₄、NH₄Cl 及び NH₄Br の大部分を析出させ、後段のシリカウールで微細な結晶も捕集させて採取する。

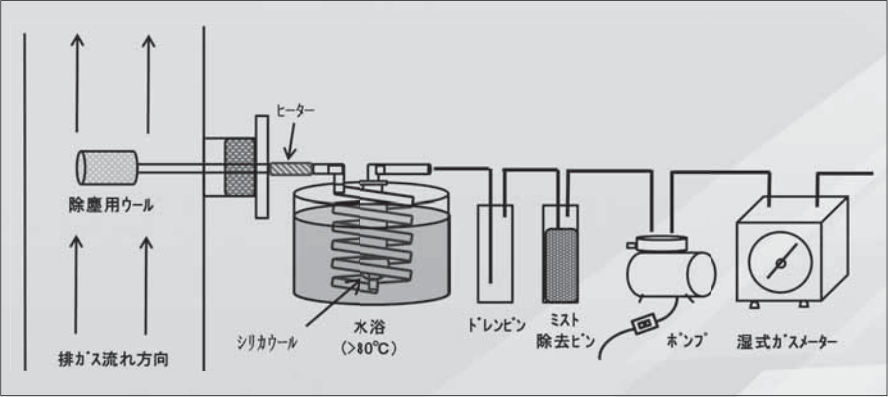


図1 スパイラル管による排ガス採取方法
 Fig1 Collecting method of exhaust gas using spiral tube

3. 採取後のスパイラル管

K処理場焼却炉において、熱交換器出口の燃焼排ガスから採取した塩類付着後のスパイラル管の写真を図2～4に示す。入口燃焼排ガスは約370℃あり、スパイラル管内で温度が低下し上段でほとんどの塩類が析出付着し、下段の付着量は少ない事が分かる。

スパイラル管に付着した析出物のX線回折 (XRD) 測定結果を図5に示す。上段のピークパターンが付着物測定結果、下の3種類のパターン線が検索結果から判明した標準物質である。付着物のピークパターンに対して、標準物質パターンの (NH₄)₂SO₄ と NH₄Cl 及び NH₄Br のピーク位置と強度

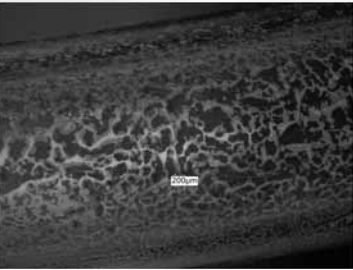


図3 採取後のスパイラル管内部-1 (上段)
 Fig3 Inside of spiral pipe-1 (Upper line)

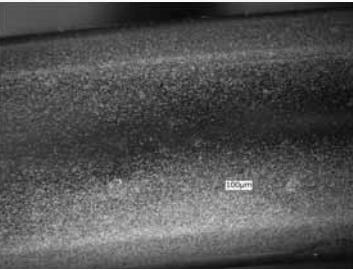


図4 採取後のスパイラル管内部-2 (下段)
 Fig4 Inside of spiral pipe-2 (Lower line)

比がほぼ一致している事からこれらの結晶の存在が示唆された。本付着物のXRD測定結果では NH₄HSO₄ ピークパターンは確認されなかったが、NH₄HSO₄ は燃焼状態によっては存在し、その融点 (146.9℃) はアンモニウム塩中では特に低く、不安定物質でもある。今回は多量に採取したのでXRD測定は実施できた。しかし、通常の採取量ではXRD測定は困難であり、NH₄HSO₄ 存在は水溶解時の pH と後に述べる表2の NH₄量と Cl、SO₄、Br 量のバランスから判断している。pH が低い場合は NH₄HSO₄ として存在している可能性が高い。



図2 排ガス採取後のスパイラル管の全体写真
 Fig2 Whole view of spiral tube after collection of exhaust gas

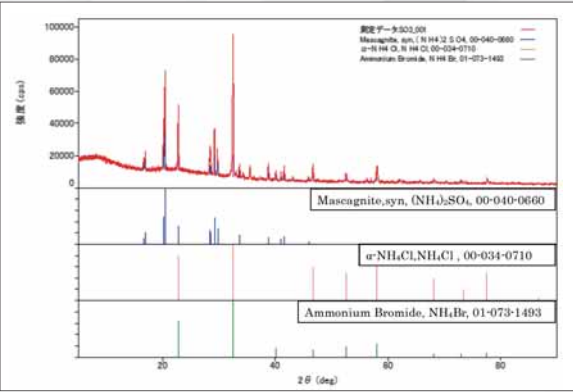


図5 スパイラル管付着物のX線回折パターン
 Fig5 X-ray diffraction patterns of spiral tube deposits

4. 管内部付着物組成分析

スパイラル管付着物を水に溶解し、イオンクロマトグラフィーにて分析した結果を表1に示す。表1の結果から pH は R処理場が低く、全イオン量は R処理場が多い。また、R処理場は硫酸 (SO₄) より塩素 (Cl) の方が多いが K処理場は逆の傾向を示した。硫酸 (SO₄)、塩素 (Cl)、臭素 (Br) がそれぞれアンモニアと反応したと仮定し、アンモニウム塩濃度を計算した結果を表2に示す。付着物の pH 値が酸性 (pH 3～4) であることから硫酸 (SO₄) は NH₄HSO₄ または (NH₄)₂SO₄、もしくは混合物質と思われる。硫酸 (SO₄)、塩素 (Cl)、臭素 (Br) の各分析値から理論 NH₄量を算出し、理論値と分析値から NH₄HSO₄ と (NH₄)₂SO₄ の区別を pH も

考慮して推測した。その結果、NH₄の分析値と理論値を比較し、pH 値が NH₄HSO₄ の方が低いことから推察すると、K処理場は (NH₄)₂SO₄、R処理場では NH₄HSO₄ の形態で存在していると思われる。

また、アンモニウム塩の存在については、先に述べたX線回折結果でも裏付ける結果となった。

表1 付着物のイオン組成 (分析値)

	pH	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Br ⁻	(mg/m ³) NH ₄ ⁺
K処理場	4.0	17	8.7	3.2	11
R処理場	3.3	55	83	4.4	57

表2 アンモニウム塩類濃度の計算値

	NH ₄ HSO ₄	(NH ₄) ₂ SO ₄	NH ₄ Cl	NH ₄ Br	全NH ₄
K処理場	-	24	13	3.9	12
	20	-	-	-	8.6
R処理場	-	76	127	5.4	66
	66	-	-	-	56

※参考 各イオンの融点 NH₄HSO₄/146.9℃以上で分解、(NH₄)₂SO₄/280℃以上で分解、NH₄Cl/340℃で昇華、NH₄Br/452℃で昇華

5. おわりに

焼却排ガスは炉から熱交換器・排煙処理塔等を経て煙突から排出される。ガス温度が低下していくと析出温度の低い NH₄HSO₄、(NH₄)₂SO₄ は焼却炉燃焼排ガスラインの下流へダストとして移行しやすいが、析出温度が高い NH₄Cl は排煙処理塔前段での形成が想定される。さらに、析出温度が高い NH₄Br はもっと上流側での形成が考えられる。下水汚泥燃料化装置においてもアフターバーナー後段に塩形成がみられ、ここで述べた焼却炉と同様のアンモニウム塩類であり排出ガス中のダスト量基準値超過の懸念がある。今後は下水汚泥焼却設備、燃料化設備においてシンタリングや燃焼排ガス経路内付着物問題を含めて、この分析技術がトラブル解決に役立つように活用し、排ガス測定全体の分析技術を高めていきたい。

プロセスシミュレーション

開発本部 研究開発部 解析グループ
深田 充

1. はじめに

石油化学や石油精製を始め、化学製品や廃水処理などの各種プラントの計画において、新しいプロセスの開発、省エネ対策や最適



図1 PDCB製造設備外観¹⁾
Fig1 Overview of PDCB plant

化運転方法の探索など、様々な検討課題がある。これら検討課題において、対象となる流体の物性推算や各単位操作の計算に基づくプロセスの物質収支・熱収支などを詳細に把握する必要がある。そのための強力な手段として、コンピュータを使ってプロセスの様々な挙動をシミュレートする「プロセスシミュレーション」がある。

2. 解析グループのプロセスシミュレーション技術

解析グループでは、PDCB^{*1}やBPA^{*2}などの化学製品製造設備を始め、廃水処理設備や排煙脱硫設備などのプロセスシミュレーションを実施している。

2.1 所有ツール

図2に示す汎用性プロセスシミュレータ^{*3}を有している。「OLI Engine」を除くいずれのシミュレータにおいても各ストリームの結果としてpH、温度、圧力、密度、流量、組成および粘度などの物性推算値が得られる。

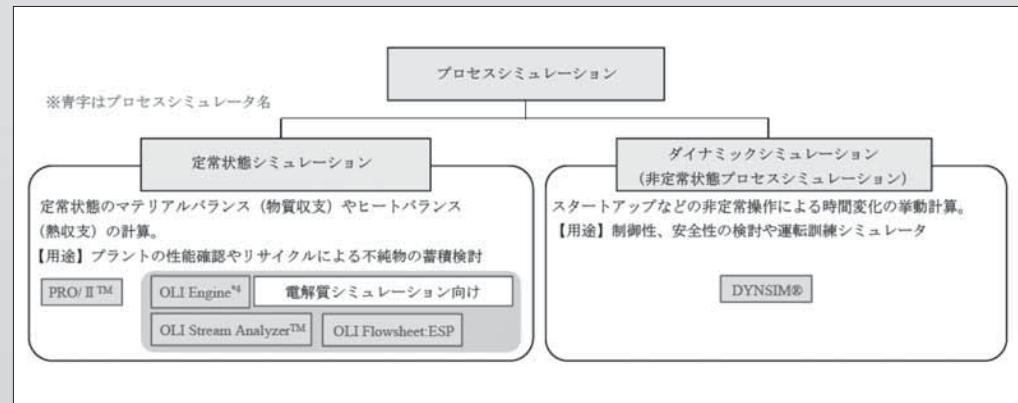


図2 プロセスシミュレーション分類
Fig2 Category of process simulation

2.2 事例

各汎用性プロセスシミュレータのモデルや計算結果例を図3～図5に示す。また、最近の具体的な2つの検討事例を以下に紹介する。

2.2.1 アンモニア回収設備(定常状態シミュレーション)

- ・対象設備 : アンモニア回収設備(放散と分解の2工程)
- ・目的 : コスト優位性のあるプロセスフローの検討。
- ・使用ツール : 「PRO/IITM」+「OLI Engine」(溶液中の分子およびイオンの平衡計算)
- ・モデルの特徴 : 放散工程／「PRO/IITM」固有の熱力学物性推算式の活量係数式では廃水中のアンモニアの電離を考慮できないため、「OLI Engine」の電解質熱力学物性推算式(MSE^{*4})を適用。分解工程／アンモニアを含んだガスの分解による熱エネルギーを正しく計算するため、放散工程とは分けて熱力学物性推算式として状態方程式を適用。
- ・ケーススタディ : 循環ガス流量の最少化およびアンモニア放散塔の最適理論段数の検討。
- ・成果 : 各工程に適した熱力学物性推算式を選定したことで、廃水中のアンモニア濃度を低減してコスト競争力のあるプロセスに辿り着いた。

2.2.2 PDCB製造設備(ダイナミックシミュレーション)

- ・対象設備 : PDCB製造設備
- ・目的 : ①排ガスブロウシステムの圧力制御性を確認。②反応緊急停止時の窒素によるパージ処理条件の妥当性を確認。

^{*1} パラジクロロベンゼン：防虫剤の原料やエンジニアリングプラスチックであるPPS(=ポリフェニレンサルファイド)樹脂の原料
^{*2} ビスフェノールA：エンジニアリングプラスチックであるPC(=ポリカーボネート)樹脂の主原料
^{*3} 汎用性プロセスシミュレータ：純物質のデータ、混合物の物性値を計算する熱力学物性推算式や多数の単位操作ユニットなどがあらかじめ組み込まれたプロセスシミュレーションソフトウェア
^{*4} OLI Engine：電解質データバンクと混合溶媒系電解質熱力学モデル(MSE：mixed solvent electrolyte)または水溶液系電解質熱力学モデル(Aqueous)による電解質の平衡計算ソルバー

- ・使用ツール : 「DYNSIM[®]」
- ・モデルの特徴 : 実施設備を忠実に再現(タンク容量、液レベル、機器のエレベーション、配管径、配管長、配管部材(Uシール機構など))。
- ・ケーススタディ : ①スタートアップ→定常(運転負荷50%～100%)／ベント系システムの流量負荷変動に伴う圧力制御性の確認。②定常(運転負荷50%～100%)→反応緊急停止→窒素パージ／経時変化に伴う出口ガス濃度の確認。
- ・成果 : ブロウシステム制御の安定性を確認(実機でも制御性に問題ないことを確認済み)。パージ窒素の必要量と時間を確認(実設備でもパージ条件に問題ないことを確認済み)。なお、パイロットプラントで検証した場合、危険ガス(塩素)の取扱いリスク、実設備へのスケールアップリスクおよび多数のケーススタディの検討に要する多くの時間と費用が想定される。

3. おわりに

プロセスシミュレーションは短期間かつ低コストでプロセス状態を推定できるため、各種プラントの計画において欠くことのできない手法である。そして、月島機械は1992年の「PRO/IITM」導入以来、多くの経験やノウハウを蓄積しており、適切なモデル構築ならびに条件設定ができる。

今後は、プロセスシミュレーション技術の伝承と向上を推し進めていながら、化学プラントだけでなく社会インフラ設備などへも幅広く活用していく所存である。

- 【参考文献】
1) 月島機械ホームページ
2) OLIトレーニング資料(シミュレーション・テクノロジー社主催2017年11月OLI Public Training Course No.3)
【商標】
・「PRO/IITM」はシュナイダーエレクトリックソフトウェア株式会社の登録商標です。
・「DYNSIM[®]」はシュナイダーエレクトリックソフトウェア株式会社の登録商標です。
・「OLI Stream AnalyzerTM」はOLI Streams, Inc.の登録商標です。

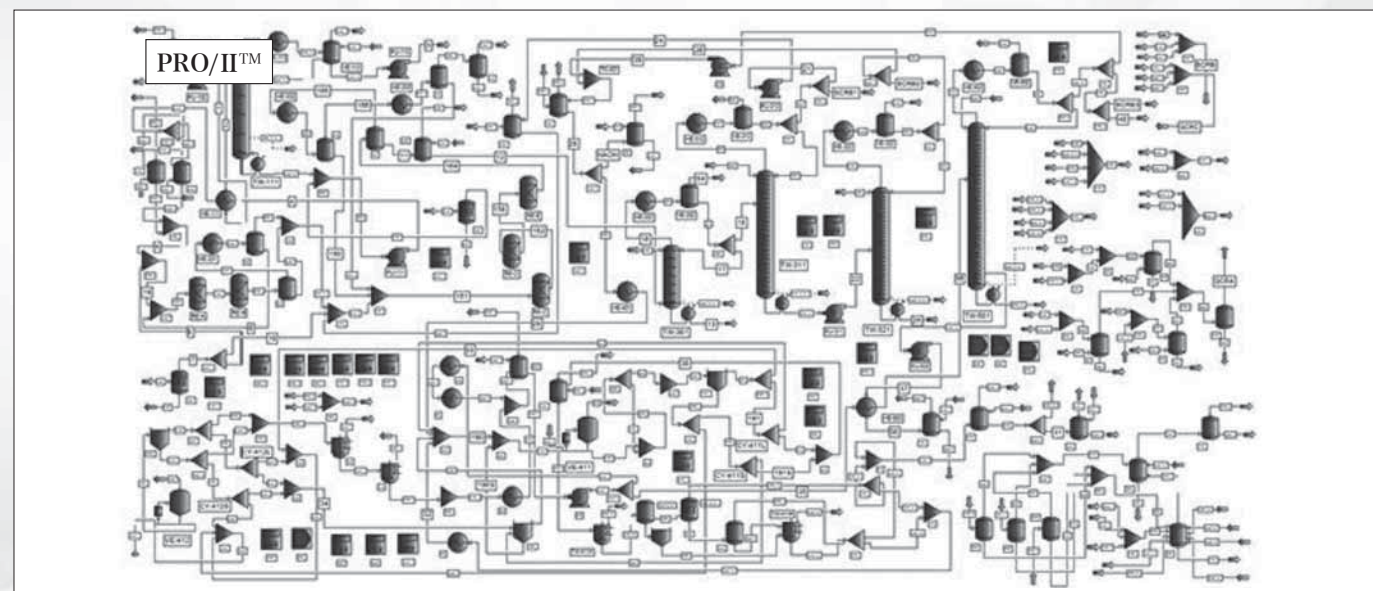


図3 定常状態プロセスシミュレーション例¹⁾
Fig3 Example of steady state process simulation

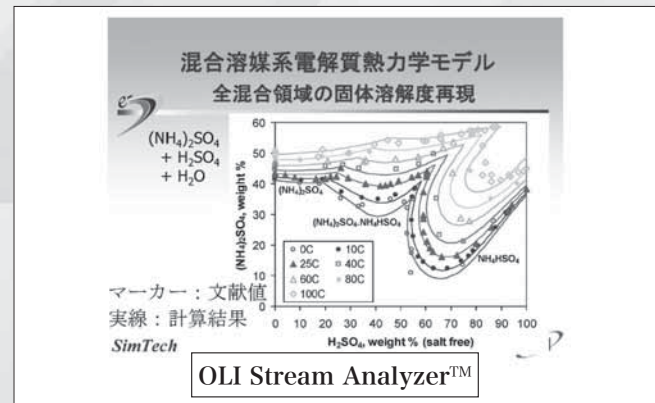


図4 (NH₄)₂SO₄結晶状態計算例²⁾
Fig4 Example of (NH₄)₂SO₄ solid state survey

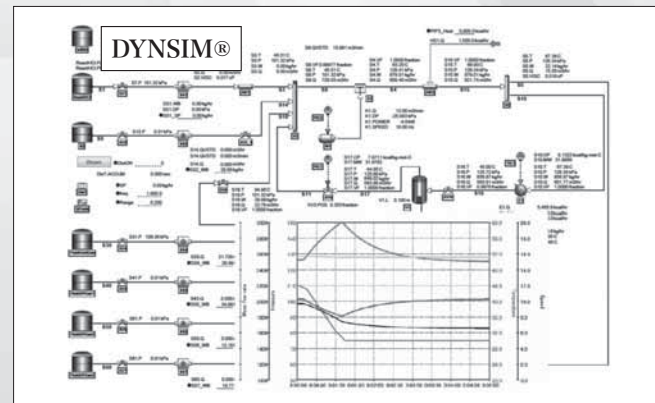
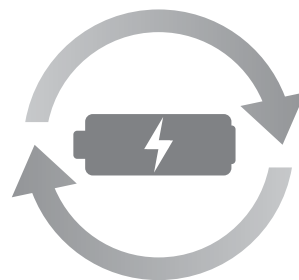


図5 ダイナミックシミュレーション例
Fig5 Example of dynamic state process simulation



二次電池のはなし

1 歴史

二次電池と聞くと何をイメージされますか？

実は、使い切りの電池を一次電池、充電することで繰り返し使える電池を二次電池と言います。二次電池の歴史は古く「ニッカド電池」が発明されたのは、100年以上前の1899年にスウェーデンのユングナーが発明されたのが最初と言われています。

日本では、1963年から64年にかけて、三洋電機、松下電器産業が量産化しました。その次に量産化されたのは、ニッケル水素電池。ご存じ、トヨタ自動車のプリウスに使われている電池です。

最近みなさんがよく耳にするリチウムイオン電池は、1991年にソニーが世界で初めて量産化しました。この電池は、ニッケル水素電池よりもエネルギー密度が高いためコンパクトな電池になります。

若い方々は、信じられないかもしれませんが、ダンシングヒーロー（荻野目洋子）の曲に合わせて踊っている女芸人：平野ノラが、肩から大きな箱をぶら下げています。あれは、約30年前の携帯電話です。箱の部分が電池で、ニッカド電池を採用していました。今のスマホの大きさと比べてみてください。あんなに大きいのに、通話時間はわずか40分でした。当時は、携帯本体や通信料が高かったため、携帯電話は、それなりのお給料を貰っていた人しか持てませんでした。高級レストランに行くと、これ見よがしに、テーブルに携帯電話を置いて食事をしていた人を見たことがあります。

2 リチウムイオン電池とは

リチウムイオン電池の形は、角形（お弁当箱？）、パウチ型（レトルトカレー？）、円筒型（乾電池？）等がありますが、内部の構造は、下図にあるように主要4部材で構成されています。「正極活物質」「負極活物質」「電解液」「セパレーター」になります。電池は、これらの材料を加工し、組み立てることで作られます。

ニュースで聞かれたことがあるかと思いますが、PCからの出火！の原因は、材料の製造や加工組立時の異物の混入と言われています。生産に際し、細心の注意が必要です。

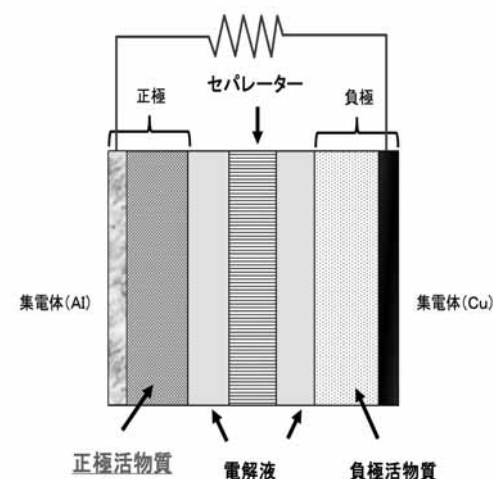


図1 リチウムイオン電池構造（主要4部材）

3 月島機械との関係

月島機械には、「晶析」「固液分離」「乾燥」「混合」「粉体ハンドリング」技術があります。実は、「正極活物質」は、これらの工程で生産されています。特に、正極活物質製造工程のうち、前駆体製造工程については、月島機械で全工程の計画、設計、機器供給が可能です。

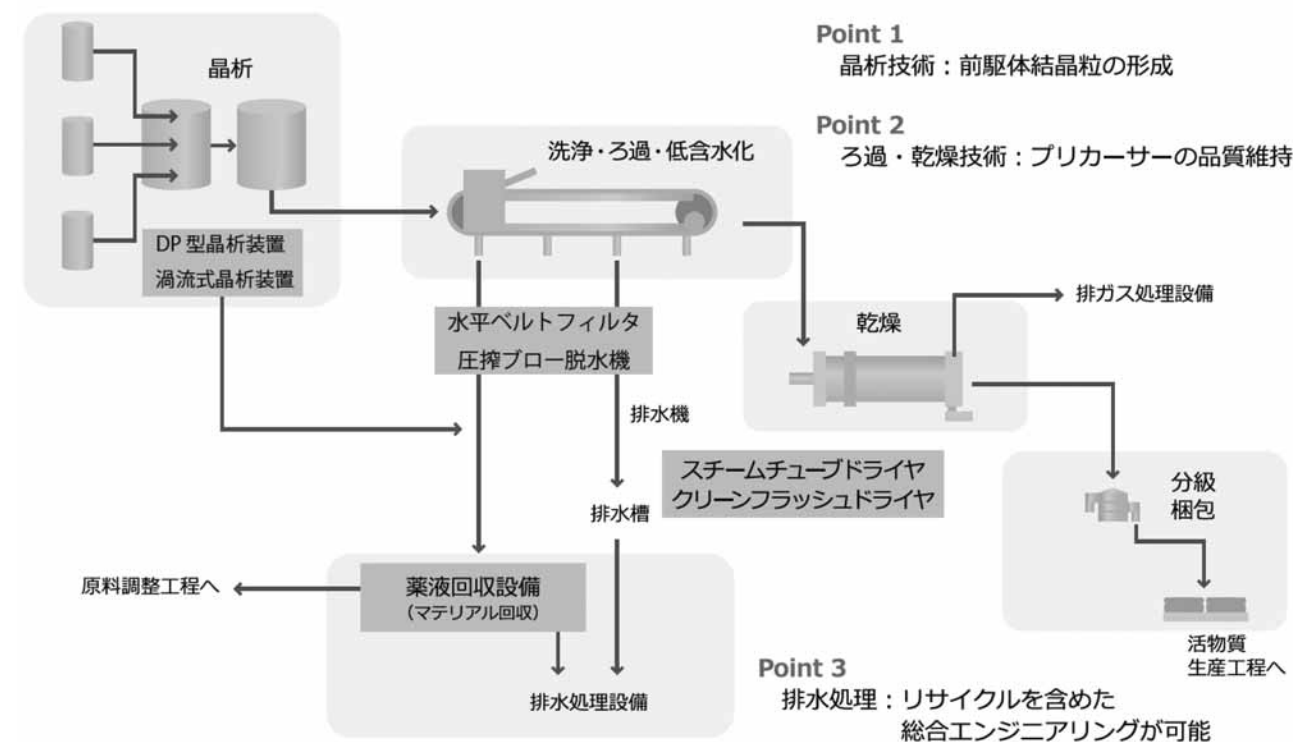


図2 リチウムイオン電池 正極活物質前駆体製造フロー

4 リチウムイオン電池の需要

リチウムイオン電池は上市当初は携帯電話やモバイルPCなど小型電気製品に使われていましたが、容量の大きい商業用補助電源や運輸分野へと活躍の場を広げつつあります（テレビで出川さんが電動バイクで旅をしています、あのバイクもリチウムイオン電池を積んでいます）。

今後、大きな需要拡大が見込まれるのが自動車向けです。ヨーロッパを中心に世界各国で地球温暖化対策の一環として化石燃料車からの脱却を推進する政策が掲げられています。今後、自家用車、商用車とも、ガソリン車やディーゼル車からプラグインハイブリッド車や電気自動車へ移行していくことが確実視されています。

これらの、いわゆる電動化自動車の需要拡大に応えるため、ヨーロッパ、米国、日中韓の東アジアを中心に、新たなリチウムイオン電池の製造プロジェクトが立ち上がりつつあります。

5 まとめ

二次電池は、電力をためることにより電力の余っている場所・時間から足りない場所・時間に電力を輸送する事を可能とするデバイスであり、電力の無駄をなくすことでエネルギー削減や地球温暖化抑制に貢献します。月島機械の技術によって製造された電池が広く自動車に搭載され、社員一人ひとりが環境問題への貢献を誇れるような日が来ることを目指して、技術を磨いていきたいと思っています。

会社概要		
名称	月島機械株式会社	資本金
	(TSUKISHIMA KIKAI CO.,LTD.)	66億4680万円
代表取締役社長	山田 和彦	従業員数
創業	明治38年8月	630名(グループ2,523名)(平成30年3月末現在)
		売上高
		単体：391億円 連結：850億円(平成30年3月期)

事業所

本社	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 TEL.03-5560-6511 FAX.03-5560-6591	市川事業所 (市川工場)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
東京支社	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 TEL.03-5560-6541 FAX.03-5560-6593	(研究所)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661
大阪支社	〒541-0045 大阪市中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル) TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415		
札幌支店	〒060-0807 札幌市北区北七条西4-1-2(KDX札幌ビル) TEL.011-726-0510 FAX.011-726-0520		
仙台支店	〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK仙台ビル) TEL.022-227-9267 FAX.022-223-0316		
横浜支店	〒231-0015 横浜市中区尾上町4-47(リスト関内ビル) TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086		
名古屋支店	〒045-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル) TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624		
広島支店	〒730-0015 広島市中区橋本町10-10(広島インテス) TEL.082-227-3093 FAX.082-223-8771		
福岡支店	〒810-0062 福岡市中央区荒戸2-1-5(大濠公園ビル) TEL.092-741-5736 FAX.092-761-4806		
沖縄営業所	〒901-2131 沖縄県浦添市牧港2-54-2(沖縄土木設計ビル) TEL.098-874-5793 FAX.098-874-6262		
関西グループ (産業事業本部 営業部)	〒541-0048 大阪市中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル) TEL.(06)6206-1210 FAX.(06)6220-2900		

関連会社

月島テクノメンテサービ ス(株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 月島機械永代ビル TEL.03-5245-7150 FAX.03-5245-7155
サンエコサーマ ル(株)	〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55 TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381
月島環境エンジニア リング(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-12-1 (KDX晴海ビル) TEL.03-6758-2310 FAX.03-6758-2324
月島マシンセー ルス(株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 月島機械永代ビル TEL: 03-5621-5911 FAX: 5621-5912
月島ビジネスサ ポート(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)内) TEL.03-3533-4824 FAX.03-3536-0968
大同ケミカルエ ンジニアリング(株)	〒530-0053 大阪府大阪市北区末広町3-3 大同パークサイドビル TEL.06-6312-6621 FAX.06-6312-6626
三進工業株式 会社	〒210-0861 神奈川県川崎市川崎区小島町4番4号 TEL.(044)266-0272 FAX.(044)266-0271
寒川ウォーター サービス(株)	〒253-0106 神奈川県高座郡寒川町宮山4058番6他 (寒川浄水場内) お問い合わせ先： 月島機械株式会社 水環境事業本部 PPP事業推進室 TEL.(03)5560-6540 FAX.(03)5560-6584
尾張ウォーター &エナジー(株)	〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南1-17-29 (月島機械株式会社名古屋支店内) お問い合わせ先： 月島機械株式会社 水環境事業本部 PPP事業推進室 TEL.(03)5560-6540 FAX.(03)5560-6584

〈海外関連会社〉
TSKエンジニア リングタイランド(株) TSK ENGINEERING (THAILAND) CO., LTD. ≪TET≫ 14th Floor, Room1404, United Center Building, 323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand TEL. +66-2-231-1726～30 FAX. +66-2-231-1731

月島環 保機械(北京)有限公司 TSK ENGINEERING CHINA CO., LTD Unit2205, Block A, ZhuBang 2000 Business Center No.100 Balizhuang Xili, Chaoyang District, Beijing 100025, P.R.China TEL. +86-10-8590-6595 FAX. +86-10-8590-6593

BO KELA Ingenieuresellschaft für Mechanische Verfahrenstechnik mbH Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany TEL. +49-721-9-64-56-0 FAX. +49-721-9-64-56-10
--

月島エ ンジニアリングマレーシア(株) TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA SDN. BHD. ≪TEM≫ 月島エンジニア リングシンガポール(株) TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE PTE. LTD. ≪TES≫ SUITE16. 04-05, 16th Floor, Wisma MCA, 163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia TEL. +60-3-2162-8679 FAX. +60-3-2162-8377

TSKエ ンジニアリング台湾(株) TSK ENGINEERING TAIWAN CO., LTD. ≪TETA≫ 6th Floor, No.24, Min Sheng, W.Road, Taipei, Taiwan R.O.C. TEL. +886-2-2523-6975～6 FAX. +886-2-2521-1429



編集後記

横幕 宏幸

今回から編集委員長を拝命しました。

今回は単位操作機械特集として、TSKの保有する技術を紹介させて頂きました。世の中のプロセスが進化しつづけるなかで、そのコアとなる単位操作技術の進化も止めるわけにはいきません。沢顧問より頂きました言葉を改めて紹介させていただきます。

～月島機械に望むこと～

卓越した専門能力／研ぎすまされた感性／燃える情熱／飽くなき執念

Editor's Note

TSK技報 NO.21 2018

発行日:2018年11月1日

問い合わせ先:giho@tsk-g.co.jp

発行:月島機械株式会社 技報編集委員会

総責任者:福沢 義之

編集委員長:横幕 宏幸

副編集委員長:田中 一穂

編集委員:大塚 正弘

村澤 崇

左 淳

栗田 新平

津崎 裕也

谷口 智彦

上田 厚志

島田 純

高部 洋一

鈴木 健治

荒井 健

越智 崇

高尾 ひろ子

18111600A

42 TSK 技報 2018 no.21

TSK 技報 2018 no.21 43